

FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE CLERMONT

Année 1969

N° d'ordre : 97

Série : E

T H E S E

présentée
pour obtenir le grade de
DOCTEUR ES-SCIENCES NATURELLES

par
Gabriel HOTTIN

LES TERRAINS CRISTALLINS
DU CENTRE-NORD ET DU NORD-EST
DE MADAGASCAR

PETROGRAPHIE - STRUCTURE - STRATIGRAPHIE

Deuxième volume

Soutenue publiquement le 29 mars 1969
devant la Commission d'examen

Président : MM. M. ROQUES, Professeur

Examineurs : H. BESAIRIE, Correspondant de l'Institut, invité
P. LAPADU-HARGUES, Professeur
J. M. PETERLONGO, Professeur
J. MAISONNEUVE, Professeur

Texte publié dans la Série Documentation du Service Géologique
de Madagascar, n°178, Tananarive, 1969.

FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE CLERMONT

Année 1969

N° d'ordre : 97

Série : E

T H E S E

présentée
pour obtenir le grade de
DOCTEUR ES-SCIENCES NATURELLES

par
Gabriel HOTTIN

LES TERRAINS CRISTALLINS
DU CENTRE-NORD ET DU NORD-EST
DE MADAGASCAR

PETROGRAPHIE - STRUCTURE - STRATIGRAPHIE

Deuxième volume

Soutenue publiquement le 29 mars 1969
devant la Commission d'examen

Président : MM. M. ROQUES, Professeur

Examineurs : H. BESAIRIE, Correspondant de l'Institut, invité
P. LAPADU-HARGUES, Professeur
J. M. PETERLONGO, Professeur
J. MAISONNEUVE, Professeur

Texte publié dans la Série Documentation du Service Géologique
de Madagascar, n°178, Tananarive, 1969.



Digitized by the Internet Archive
in 2026



https://archive.org/details/IA41548607_0013

V - LES MIGMATITES (à tendance rubanée) DE L'ARC ANTICLINORIAL D'AMBODIRIANA AUX PLATEAUX DE L'EST DE MANDRITSARA	193
A)- Définition et localisation	193
B)- Historique	193
C)- Pétrographie de l'ensemble migmatitique ..	195
D)- Ectinites résiduelles	202
E)- Aperçu structural de l'ensemble migmatitique	205
F)- Conclusion : signification stratigraphique de l'arc migmatitique d'Ambodiriana aux tampoketsa de l'Est de Mandritsara	207
VI- LES SERIES GRAPHITEUSES DU MANAMPOTSY-BRICKAVILLE, DE L'ANDRIBABE-BAKIRY ET DE L'ANDRANO-KELY	209
A)- Introduction	209
B)- Historique	211
C)- Pétrographie des séries graphiteuses	218
D)- Chimisme comparé du Brickaville, des leptynites et des granites leucocrates des séries graphiteuses	241
E)- Aperçu structural	249
F)- Conclusion à l'étude de la série graphiteuse	254
<u>D - GROUPE DE L'ANDRONA</u>	255
I - INTRODUCTION	255
II - SERIE DE L'ALAOIRA	256
A)- Définition et localisation	256
B)- Pétrographie sommaire	257
C)- Aperçu structural	267
D)- Passage de la série graphiteuse du Manampotsy à la série pyroxénoamphibolique de l'Alaoira	267
III - SERIE DE L'ANDRONA	270
A)- Définition et localisation	270
B)- Pétrographie	271
C)- Aperçu structural	280
D)- Conclusion	282
IV - GRANITES DE L'ANDRONA	283
A)- Définition et localisation	283
B)- Caractères généraux des granites du Sud de l'Androna	284
C)- Pétrographie	286
D)- Chimisme comparé des différents termes ..	293
E)- Conclusions	295

<u>E - LES FORMATIONS POSTMETAMORPHIQUES : INTRUSIONS -</u>	
<u>ROCHES EFFUSIVES ET SEDIMENTS</u>	300
I - FORMATIONS EFFUSIVES ET INTRUSIVES	301
A)- Coulées des tampoketsa de l'Ouest	301
B)- Coulées de la côte orientale (presqu'île Masoala-Antalaha)	302
C)- Dykes "doléritiques" du versant oriental	304
D)- Massif syénitique de l'Anjanaharibe	306
E)- Pitons trachyphonolitiques isolés	307
F)- Massif volcanique de l'Ankasimbelo	308
G)- Ankaratrites de l'Alaotra	309
II - FORMATIONS SEDIMENTAIRES	309
A)- Sédimentaire du tampoketsa de l'Analamaitso	309
B)- Grès continentaux de la côte orientale (Foulpointe-Tamatave)	310
C)- Bassin lacustre de l'Alaotra	311
D)- Alluvions de Matsoandakana	312
E)- Plaines côtières	314
III - CONCLUSION	315
<u>F - RESSOURCES MINIERES</u>	319
A)- Graphite	320
B)- Quartz	322
C)- Or	325
D)- Ilménite	331
E)- Chromite	332
F)- Minéralisations dispersées	334
G)- Conclusion	338

IIème PARTIE

SYNTHESE ET CONCLUSIONS

<u>A - SYNTHESE LITHOLOGIQUE ET STRUCTURALE</u>	342
<u>B - METAMORPHISME, MIGMATITES ET GRANITES</u>	354
<u>C - PETROGENESE ET STRATIGRAPHIE</u>	358
<u>D - CONCLUSIONS</u>	365
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	371

V- LES MIGMATITES (à tendance rubanée) DE L'ARC ANTICLINORIAL D'AMBODIRIANA AUX PLATEAUX DE L'EST DE MANDRITSARA.- A- Définition et localisation.- Lors de l'étude des séries ectinitiques de Sahantaha-Mahakiry, d'Antenina et de Vavatenina, nous avons décrit leur passage similaire à l'Ouest et au Sud à des migmatites à faciès rubané désignées successivement sous les noms de migmatites de l'Ouest, des tampoketsa, ou d'Ambodiriana.

Il est en effet difficile de donner une définition précise de cette vaste zone migmatitique. Les deux premiers termes ont ainsi déjà été employés, en d'autres points de Madagascar, pour désigner d'autres complexes migmatitiques, mais qui ne paraissent pas assimilables, stratigraphiquement, au nôtre ; comme, par exemple, les migmatites de la "falaise" (de l'Angavo), à l'Est et au Sud de Tananarive, et les migmatites des "tampoketsa" (d'Ankazobe et de Fenoarivo) au Nord de Tananarive.

Le terme de migmatites d'Ambodiriana conviendrait mieux du point de vue géographique, bien que très restrictif, mais il risque de prêter à confusion du point de vue stratigraphique avec la définition antérieure de la série migmatitique d'Ambodiriana, comme la continuité de la série supérieure Vohiboryenne de Vavatenina-Fénérive, assimilée au Beforona-Alaotra, et séparée, au contraire, des "migmatites de la falaise" et des "tampoketsa de l'Ouest" attribuées au système sous-jacent du Graphite.

Et pour tenter de remédier à ces divers inconvénients, nous n'avons pu trouver mieux que l'énoncé laborieux qui sert de titre à ce chapitre.

B- Historique.- La cartographie de la zone de la falaise a été réalisée par H. de la ROCHE et J.AUROUZE (1950-1952), au cours

du lever de la carte de reconnaissance au 1/200.000 : feuilles Maroantsetra-Mandritsara par H. de la ROCHE au Nord, Marotrandrana-Mananara et Vavatenina-Fénérive au Sud, par J.AUROUZE.

En 1951, R.LAUTEL a levé, également au 1/200.000, la région d'Ambodiriana jusqu'à l'Alaotra à l'Ouest : (feuilles Ambatondrazaka, Ambodilazana, Tamatave).

Cette cartographie d'ensemble reste la seule existante actuellement. En 1958-1959, la reprise au 1/100.000 des séries côtières n'a fait que revoir la région d'Ambodiriana (R.GIRAUDON), et la bordure orientale de la zone migmatitique de l'Ouest, au niveau des feuilles Vavatenina-Fénérive (migmatites du Karobe de P.BUSSIÈRE) et de Soanierana-Ivongo (gneiss et migmatites rapportés à la série d'Antenina par J.MARCHAL).

En 1960, les coupes réalisées lors de la prospection pour bauxites des hauts plateaux, du Nord de l'Alaotra à la région Est de Mandritsara, nous ont permis d'acquérir une vue partielle de cette région, complétée par la prospection, en 1963, de la région d'Andondona.

Mais c'est surtout au cours des années 1964, 1965 et 1966 que nous avons pu, en dressant au Nord la carte au 1/100.000 des feuilles Mandritsara, Antsatramidola et Ambodihazomamy (complétées par des levers de liaison sur les feuilles adjacentes levées à la même époque par M.RANTOANINA et E.LIANDRAT), et au Sud la carte des feuilles Vohimenakely-Vavatenina et Fénérive (avec des coupes complémentaires dans la région de l'Antara et d'Ambodiriana) aboutir à une connaissance plus précise de cette région et notamment des deux zones clés que constituent la zone d'ennoyage Nord de l'axe migmatitique (au niveau de la feuille Ambodihazomamy) et sa zone de virgation à l'Ouest, au niveau de la feuille Vavatenina, pour rejoindre les migmatites côtières d'Ambodiriana.

Il y a peu à dire sur la cartographie proprement dite. Tous les géologues intéressés se sont accordés pour souligner le caractère migmatitique dominant de cette zone, d'une monotonie assez rebutante, souvent aggravée par le fait qu'elle coïncide, sur une bonne partie, avec de vastes plateaux désertiques à fort recouvrement latéritique et forestier, surtout à l'Est, de pénétration difficile.

La principale modification apportée à la conception antérieure (importante pour la compréhension de la stratigraphie régionale) est la réunion dans un même ensemble stratigraphique des migmatites côtières de la région d'Ambodiriana, au Sud, aux migmatites de la falaise et des tampoketsa, à l'Ouest.

C- Pétrographie de l'ensemble migmatitique.- 1- Les migmatites rubanées.- a- Caractères généraux.- La définition classique des migmatites en tant que faciès à texture gneissique qui ressemblent à des roches de "mélange" ("look like mixed rocks": SEDERHOLM 1908), correspond bien à l'impression donnée par les formations rubanées, avec leurs juxtapositions répétées, plus ou moins régulières et de puissance variable (centimétrique à métrique) de niveaux leucocrates d'aspect et de composition granitique, et de niveaux plus mélanocrates, souvent à grain plus fin. Tous les intermédiaires existants, dans les niveaux mélanocrates, entre :

-des types grenus homogènes, à orientation à peine distincte, ne différant des bandes leucocrates adjacentes que par le grain en général plus fin ou une concentration plus grande en éléments ferromagnésiens (biotite et amphibole principalement).

-des types extrêmes de gneiss basiques, soit massifs et amphibolopyroxéniques, soit au contraire très schisteux et surmicacés.

-et de simples traînées mélanocrates (schlieren biotiques), dans une masse granitoïde pratiquement homogène.

Comme nous l'avons déjà vu au cours de la description du passage des séries ectinitiques orientales aux migmatites de l'Ouest, les différents faciès constitutifs de l'ensemble migmatitique appartiennent essentiellement à des types classiques, du point de vue descriptif, d'épibolites et d'embréchites rubanées.

b- Epibolites. - Les faciès d'épibolites, plus rarement de diadysites, dans lesquels la phase leucocrate, interstratifiée ou recoupante, est bien séparée de la trame mélanocrate ou surmicacée, abondent au niveau de la zone de passage aux séries ectinitiques orientales : flanc Ouest des synclinaux du Mahakiry et d'Antenina-Antara, et en bordure des principales zones gneissiques et micaschisteuses de la série de Vavatenina (diadysites et "micaschistes migmatisés" proprement dits de J.AUROUZE). On retrouve aussi des faciès d'épibolites fréquents à l'Ouest au niveau de quelques zones riches en bancs plus amphiboliques (gneiss, amphibolopyroxénites) comme le secteur du couloir de la Mangarahara à l'Est de Mandritsara.

Les faciès d'embréchites rubanées correspondent à des roches qui, malgré leur rubanement plus ou moins régulier (souvent rendu plus apparent à l'affleurement par la coloration rouille des niveaux mélanocrates liée à l'altération latéritique), constituent un ensemble plus homogène, dans lequel, comme le décrivait très bien J.AUROUZE (TBG. n°21 p.17) en termes classiques: "l'apport" paraît "imbiber la totalité de la roche originelle, sans détruire sa schistosité". Ce qui se traduit essentiellement, au microscope, par la présence de microcline "insinuant" et de myrmékite associés aux plagioclases de la "trame", comme dans les bandes leucocrates adjacentes ; et à l'affleurement, par des contours plus flous,

et des différences de grain et de texture moins nettes entre les phases mélanocrates et leucocrates, que dans les épibolites précédentes.

Ces embréchites rubanées couvrent la majeure partie des tampoketsa à l'Ouest de la série d'Antenina et à l'Est de Mandritsara. Elles forment aussi l'ossature des principales structures développées sur la feuille Vohimenakely entre la zone de l'Alaotra à l'Ouest et la série de Vavatenina à l'Est, ainsi que l'essentiel des principales masses migmatitiques de l'Ouest et du Sud de la région d'Ambodiriana.

A première vue, cette répartition paraît s'accorder avec la limite régionale de la zone à sillimanite et de la zone à sillimanite-disthène (tracée d'après les niveaux d'ectinites résiduelles) et tout se passe comme si, à l'Ouest de cette limite discordante en grand sur la structure régionale, les épibolites de la bordure orientale (zone à disthène et sillimanite) venaient se "fondre" progressivement dans l'ensemble embréchitique, zone à sillimanite et grenat de l'Ouest. Il existe néanmoins des "anomalies" locales : notamment avec la persistance de zones épibolitiques importantes, généralement à septa amphibolopyroxéniques, jusque sur la bordure Ouest de la zone migmatitique.

Les faciès embréchitiques sont à dominance leucocrates à biotite ou à biotite et amphibole, et parfois grenatifères. Les faciès grenatifères existent en particulier sur le flanc Est du synclinorium d'Antenina-Antara, dans le couloir de la Mangarahara et dans quelques niveaux de la série d'Ambodiriana. Mais, en général, les faciès grenatifères correspondent plutôt à des zones d'épibolites à intercalations amphibolopyroxéniques grenatifères nombreuses.

2- Les faciès granitoïdes. - Les embréchites ocellées, à gros grain, à fins schlieren de biotite, et les faciès plus rares

d'anatexites nébulitiques ou plissotées forment des intercalations concordantes dans les embréchites rubanées, localisées surtout sur la bordure Ouest de la zone migmatitique.

Dans le couloir de la Mangarahara, par exemple, existent dans un fond embréchitique rubané à biotite, amphibole, à intercalations fréquentes d'épibolites grenatifères à trame amphibolique, des strates d'épaisseur kilométrique, allongées sur 10 à 20 km, de migmatites ocellées homogènes, à biotite et amphibole interstitielles, qui passent généralement dans leur partie centrale, en quelques dizaines de mètres, par l'intermédiaire d'anatexites nébulitiques à gros porphyroblastes quadrangulaires de microcline à des faciès de granites porphyroïdes pratiquement équants.

Au Sud de la feuille Antsatramidola, à l'Ouest d'Am-balafary, l'une de ces strates ocellées à coeur granitique montre en plus le passage progressif en continuité dans le sens Nord-Sud aux migmatites embréchitiques rubanées à biotite-amphibole banales.

Le même passage progressif rapide des granites porphyroïdes formant la montée du Tampoketsa dans la falaise d'Ankevaheva (partie Sud de la feuille Bandabe) aux migmatites rubanées du couloir de la Mangarahara par l'intermédiaire de faciès typiques de migmatites amygdalaires et ocellées avait déjà été décrit par H. de la ROCHE (TBG. n°26 p.25) comme "un bel exemple de granite d'anatexie". H. de la ROCHE envisageait alors qu'une bonne partie du substratum des tampoketsa faitiers à l'Est du couloir de la Mangarahara puisse être constituée par des granites identiques, masqués par la latéritisation. En fait, les levés au 1/100.000 semblent montrer que la masse des tampoketsa dans cette région comme au Sud, est surtout constituée par un fond de faciès rubanés à intercalations ectinitiques, avec seulement quelques strates granitiques et embréchitiques.

Ces strates, plus résistantes à l'érosion que le fond migmatitique rubané, constituent ainsi, (outre une partie du rebord du tampoketsa au Nord du couloir de la Mangarahara), et comme les intercalations quartzitiques les plus importantes, des crêtes et des alignements de buttes résiduelles sur le plateau latéritique.

3- Zone granitique de la Lomakana. - Une zone granitique plus importante, signalée par J.AUROUZE, se situe dans la partie Ouest du plateau de Marovoalava au coeur de l'anticlinal principal d'embranchites rubanées qui limite à l'Ouest le synclitorium d'Antenina-Antara. J.AUROUZE décrit, ici comme au Nord, le passage progressif rapide des embréchites au granite porphyroïde (TBG. n°30 p.29) et interprète de ce fait le granite de la Lomakana comme un type de granite migmatitique qu'il différencie nettement, dans sa description régionale, des faciès du granite d'Antongil, considéré à l'époque comme un type de batholite intrusif. Mais immédiatement après, J.AUROUZE ajoute (TBG. n°21 p.19) : "curieusement", ce granite, très différent par son gisement du granite d'Antongil, "possède un aspect et une composition semblables".

On peut se demander dès lors si la masse granitique de la Lomakana, malgré ses bordures de migmatites ocellées à septa d'embranchites rubanées, ne pourrait pas constituer néanmoins une remontée du socle d'Antongil dans les migmatites rubanées. Nous n'avons pas revu cette zone ni même d'échantillons types de ce granite de la Lomakana. Les strates granitiques décrites précédemment au Nord dans les migmatites rubanées et les faciès de migmatites granitoïdes qui existent accessoirement dans le même ensemble rubané au Sud de la Lomakana sur la feuille Vohimenakely, ne présentent jamais, en effet, le faciès mésocrate typique des migmatites ocellées et des granites d'Antongil...

Du point de vue structural (carte hors-texte) l'existence d'une remontée de socle dans ce secteur apporterait une explication plus satisfaisante à plusieurs "anomalies" apparentes : direction Nord-Est de la zone de la Lomakana, concordante avec la direction générale de l'Antongil à l'Est (Ivontaka-Masoala) par exemple, mais aberrante par rapport à l'orientation générale Nord-Sud à Nord 20° Ouest de la zone des migmatites rubanées et du sillon terminal Alaotra-Androna ; explication plus logique également du rétrécissement maximal du sillon de l'Alaotra au Sud-Ouest, dans le prolongement exact de la structure d'axe Nord-Est de la Lomakana.

4- Migmatites oeillées du Betaka et d'Anjahambe, dans les migmatites rubanées de la région d'Ambodiriana (à la limite des feuilles Vavatenina et Fénérive). - Un autre argument qui peut faire penser par analogie à un dôme d'Antongil pour les granites de la Lomakana est l'existence dans les migmatites rubanées de la région d'Ambodiriana, à la latitude de Foulpointe, de deux dômes oeillés de faciès Antongil, identique à celui des dômes précédemment décrits du Vohitrambo et d'Antsiatsiaka, situés dans les mioaschistes et les gneiss de la série de Vavatenina, plus au Nord.

Le premier dôme avait déjà été plus ou moins différencié par R.GIRAUDON du fond de migmatites rubanées environnant, sans être cependant séparé de la série d'Ambodiriana sous le nom de zone du Bebaka, à faciès amygdalaire et oeillé dominant. Il se présente avec un contour presque circulaire, jalonné à l'extérieur par des alignements de quartzites dans les migmatites rubanées, et se situe, dans ces migmatites rubanées, au coeur et à l'extrémité occidentale d'une structure anticlinoriale majeure d'axe Est-Ouest.

Le second (migmatites oeillées d'Anjahambe) se place plus à l'Est au coeur de la même unité anticlinoriale, mais

affecte au contraire l'allure d'une écaille subverticale concordante orientée Est-Ouest.

5- Conclusion. - La répartition des faciès migmatitiques (exception faite des dômes d'Antongil) fournit apparemment un schéma du développement progressif de la migmatitisation dans les faciès B_{2-2} à B_{2-3} du métamorphisme de type Barrow. En effet, au niveau des feuilles Vavatenina-Fénériver, les micaschistes du synclinorium de Fénériver, à l'Est, situés dans la zone à disthène staurotide, sont pratiquement exempts de migmatitisation. Les faciès d'épibolites à trame gneissique ou surmicacée puis les embréchites rubanées apparaissent progressivement en intercalations et en dômes accessoires, de plus en plus importants vers l'Ouest, dans la zone à sillimanite disthène de la feuille Vavatenina. Plus à l'Ouest, la disparition du disthène (zone à sillimanite seule et grenat) paraît marquer de façon générale l'apparition massive des faciès d'embréchites rubanées. Cette répartition tend à s'accorder avec la remarque formulée par M. GF WINKLER, "à savoir que la formation de migmatites sous la haute pression du métamorphisme de type Barrow que nous expliquons par la fusion partielle de gneiss, c'est-à-dire par un début d'anatexie n'a pas eu lieu uniquement dans la zone à sillimanite, mais aussi dans la zone à disthène". Ici, en effet, seule la zone B_{2-1} à staurotide disthène paraît exempte de migmatitisation.

Ne disposant d'aucun renseignement sur le chimisme de ce vaste ensemble migmatitique, il est difficile d'émettre une opinion catégorique sur leur pétrogenèse et en particulier sur une origine possible par anatexie progressive. Rien n'autorise réellement d'ailleurs, des points de vue stratigraphique et géochimique, à comparer la masse des embréchites rubanées de l'Ouest aux faciès épiboliques développés au

contact des gneiss et des micaschistes des séries synclinales orientales. En effet, gneiss et micaschistes ne représentent stratigraphiquement que l'équivalent d'une partie seulement des formations qui ont donné naissance aux migmatites de l'Ouest, et même dans le cas de niveaux stratigraphiquement équivalents, l'existence de variations géochimiques d'Est en Ouest dans l'ensemble micaschistes-gneiss permet de supposer que le même phénomène risque fort de se poursuivre également plus à l'Ouest dans le domaine des embréchites.

D- Ectinites résiduelles. - 1- Partie orientale de l'arc migmatitique. - Les principaux septa ectinitiques se concentrent à l'Est, où ils reproduisent des associations proches de celles des séries ectinitiques adjacentes (Mahakiry, Antenina-Antara, Vavatenina-Sahamamy) : quartzites divers souvent à sillimanite ou grenat, gneiss communs (plagioclasiques et fréquemment grenatifères), amphibolites et amphibolopyroxénites presque toujours grenatifères et quelques micaschistes (à sillimanite et grenat).

Les migmatites de la région côtière d'Ambodiriana sont aussi, dans leur ensemble, riches en niveaux ectinitiques divers : nombreux quartzites sans minéraux ou à sillimanite, grenat, magnétite, et avec quelques niveaux à hornblende, cummingtonite, fuschite ; grenatites, gneiss à deux micas, biotite, amphibole, quelques épibolites et de très nombreuses amphibolites et amphibolopyroxénites à grenat. Il faut aussi y signaler quelques niveaux hyperalumineux particuliers : blocs de corindonite granoblastique (cristaux de 3 à 4 mm) recueillis en alluvions dans plusieurs ruisseaux au Sud d'Ambodiriana et une roche curieuse (décrite par A.LACROIX comme pléonastite) et constituée de grains de spinelle (pléonastehercynite), quelques lames de clinocllore, corindon gris-bleu et tourmaline magnésienne microscopique.

La plupart des amphibolopyroxénites sont à diallage résiduel et dérivent du métamorphisme de roches intrusives basiques comme les niveaux identiques des gneiss de la Sahamana. A la mine de chrome de Ranomena, au Sud d'Ambodiriana, ces amphibolopyroxénites grenatifères à diallage sont d'ailleurs associées à des harzburgites chromifères (exploitées il y a quelques années). Une caractéristique de la série d'Ambodiriana est en effet l'abondance des lentilles ultrabasiques à caractère hypermagnésien, métamorphisées : trémolites, soapstones, serpentines, anthophyllites avec accessoirement des résidus de pyroxénolites à enstatite et bronzite, saxonites, harzburgites, lherzolites, wehrlites. Toutes ces lentilles sont de petite taille (longueur hectométrique à kilométrique, puissance d'ordre décamétrique à hectométrique) et s'alignent sensiblement dans la schistosité des terrains cristallins. Elles sont pétrographiquement identiques aux alignements et concentrations d'ultrabasites magnésiennes qui ont été décrites dans certains secteurs du groupe de l'Antongil (série du Mananara à l'Ouest de Mananara et de Soanierana et niveaux d'Anjiahely à l'Est de Voloina entre autres).

Dans cette région d'Ambodiriana, R.GIRAUDON a regroupé sous le nom de "série basique de la Rianila" les orthoamphibolites grenatifères et les roches ultrabasiques, dans un même complexe d'origine intrusive, qu'il sépare du fond paragneissique et qu'il considère comme contemporain des vastes complexes gabbroïques orthogneissifiés du sillon terminal du Beforona-Alaotra à l'Ouest. (Thèse Clermont 1960 : "La série basique de la Rianila et son cadre géologique dans la région de Tamatave à Madagascar").

2- Partie occidentale de l'arc migmatitique. - Sur la partie Ouest de l'arc migmatitique, dans la masse des principaux dômes d'embranchement rubanés, seuls subsistent pratiquement

des niveaux discontinus d'amphibolopyroxénites grenatifères, de grenatites quartzeuses et de quartzites, parfois à sillimanite.

Entre les principaux dômes migmatitiques, subsistent néanmoins des septa ectinitiques plus importants et plus diversifiés (gneiss, souvent grenatifères, leptynites, amphibolopyroxénites, quartzites), constituant des sillons synclinoriaux étroits subverticaux comme le sillon du Nord de l'A^{di}sikidy (accolé au banc de quartzite du Bevitsika formant crête sur le tampoketsa) et ceux du couloir de la Mangaraha-ra, ou encore concentrés au niveau des fermetures périclinales également très redressées séparant les principaux dômes, comme sur la feuille Vohimenakely, au Sud, de part et d'autre du Maningory.

3- Conclusion. - L'amenuisement des septa ectinitiques vers l'Ouest s'accorde bien, en premier lieu, avec l'augmentation de la migmatisation d'Est en Ouest. A l'Ouest, sous un faciès métamorphique apparemment équivalent, la localisation préférentielle des septa ectinitiques au niveau de rides synclinoriales subverticales, alors que les dômes à structure plus lâche sont surtout migmatitiques, peut être soulignée. On retrouve en effet ici le schéma souvent décrit dans les séries très métamorphiques de l'influence apparente du style de plissement sur l'intensité des phénomènes de migmatisation. L'explication la plus fréquente d'une telle disposition a souvent été, notamment à la suite des travaux expérimentaux qui ont mis l'accent sur le rôle prépondérant de la présence d'eau dans la formation de migmatites et de granites par anatexie, que le style de plissement aurait eu une influence déterminante sur l'aptitude des formations métamorphisées à conserver ou expulser leur eau. Les zones à plissement isoclinal serré auraient ainsi tendance à expulser

facilement leur eau qui se conserve ou s'accumule, au contraire, au niveau des structures de grande ampleur. Un tel schéma fait conserver à l'eau, dans les conditions de pression et de température de la mésozone profonde et de la catazone, un comportement identique à celui des nappes dans les terrains sédimentaires. Il semble néanmoins à première vue donner une interprétation séduisante à ce qu'on observe ici à la limite de la zone B₂₋₃ à sillimanite et grenat et de la zone du hornblende granulite faciès qui se développe, immédiatement à l'Ouest, dans l'Androna. Rien ne prouve, cependant, que ce phénomène joue ici le rôle principal dans la différenciation de zones migmatitiques, et qu'il ne se superpose pas par exemple, comme nous l'avons déjà souligné plus haut, à des différences géochimiques originelles importantes.

E- Aperçu structural de l'ensemble migmatitique.- 1- Valeur anticlinoriale de l'arc migmatitique.- A l'échelle régionale, la position anticlinale des principales masses de migmatites embréchitiques de l'Ouest, par rapport aux principaux septectinitiques résiduels et à l'ensemble des séries ectinitiques orientales est indiscutable : existence par exemple des lambeaux synclinaux de gneiss de Sahamana-Manampotsy sur les migmatites d'Ambodiriana, du vaste dôme migmatitique à flanc Est normal de direction Nord-Est, axé sur la zone granitique de la Lomakana, qui limite à l'Est le synclinorium d'Antenina-Antara, des anticlinaux subméridiens du Nord de la Fahambahy, de la Mangarahara et de l'Ouest de la feuille Mahakiry à l'extrême Nord. L'esquisse structurale générale au 1/500.000 (carte en hors-texte) fait ressortir ces principales unités. Il existe cependant (comme il a été montré au cours de la description de chaque série) un passage latéral manifeste, sur la bordure occidentale des aires ectinitiques, des ectinites aux migmatites de l'Ouest. Les migmatites des dômes

anticlinaux de l'Ouest ne se situent donc pas, dans leur totalité, au-dessous des ectinites des séries orientales et, par exemple, une partie du flanc oriental du dôme de la Lomakana doit être considérée comme équivalente, du point de vue stratigraphique, des ectinites du synclinorium d'Antenina-Antara, de même que, dans le synclinorium du Mahakiry, les migmatites rubanées du flanc Ouest sont stratigraphiquement équivalentes des ectinites diversifiées du flanc Est.

2- Autres traits structuraux majeurs.- L'apparition d'un déversement général des structures à l'Est et au Nord est caractéristique.- Ainsi, si l'anticlinal de la Lomakana, à l'Ouest d'Antenina, est normal, avec un flanc Est à pendage faible, l'anticlinal du Nord Fahambahy qui le relaie au Nord est déjà dissymétrique, avec un flanc Est très redressé, de même que l'anticlinal de l'Ouest du Mahakiry. A l'Ouest de ce premier alignement, toutes les structures sont dissymétriques, et souvent fortement déversées à l'Est, comme dans la ride anticlinale qui flanque au Nord-Ouest l'anticlinal de la Lomakana.

Au Sud, au niveau de la zone d'ennoyage de l'Antongil, le déversement à l'Est, compliqué d'un écaillage souvent intense, est la règle.

Dans la région d'Ambodiriana, les structures, à l'Ouest et au Nord-Ouest, sont fortement redressées et dissymétriques. Au Nord, le contact avec les micaschistes de Vavatenina est subvertical et localement déversé au Nord. Dans la zone médiane, les aires gneissiques prolongeant les gneiss de la Sahamana et incluses dans la zone de virgation à l'Est de la série migmatitique, sont très redressées. Plus à l'Est par contre, les structures tendent à se régulariser progressivement (lambeau synclinal normal de gneiss du "Manampotsy" au Sud-Est d'Ambodiriana, aires micaschisteuses côtières de part et d'autre de Foulpointe).

Enfin, il faut rappeler que l'identité des migmatites de la falaise et de celles de la région d'Ambodiriana (qui constitue la modification majeure apportée à la conception structurale et stratigraphique antérieure) a été démontrée au niveau de la partie Sud de la feuille Vohimenakely, comme le soulignent les schémas structuraux et pétrographiques des planches 14 et 15 qui accompagnent la description de la série de Vavatenina.

F- Conclusion : signification stratigraphique de l'arc migmatitique d'Ambodiriana aux tampoketsa de l'Est de Mandritsara.-
Les séries ectinitiques orientales superposées à l'Est au groupe de l'Antongil et généralement séparées de ce groupe par une discontinuité lithologique et structurale plus ou moins nette, s'intègrent au contraire, à l'Ouest, en continuité à la partie terminale d'un vaste ensemble migmatitique restant encore mal défini, tant du point de vue de l'interprétation pétrogénétique que de sa géochimie globale.

Les migmatites rubanées de la falaise et d'Ambodiriana sont cependant dans leur ensemble très différentes d'aspect des migmatites ocellées mésocrates et des granites à épidote du groupe de l'Antongil. La position différente dans la zonéographie régionale de ces deux ensembles ne peut pas, semble-t-il, servir d'argument pour expliquer ces différences d'aspect puisque les migmatites côtières de la région d'Ambodiriana, situées dans la même position zonéographique régionale que les migmatites ocellées du Mananara, conservent le faciès rubané caractéristique des migmatites de l'Ouest.

Nous avons cru pouvoir identifier, par contre, au coeur de plusieurs structures anticlinales, dans les migmatites rubanées de la région d'Ambodiriana, et peut-être dans

celles de la falaise (Lomakana ?), comme au Nord dans les micaschistes et gneiss de Vavatenina, la présence de "noyaux" oeillés à "faciès Antongil".

Tout ceci constitue, apparemment, une série d'arguments concordants en faveur de l'attribution à deux ensembles stratigraphiques différents des migmatites de l'arc d'Ambodiriana-Tampoketsa de Mandritsara, et des migmatites et des granites du groupe de l'Antongil. L'existence d'une discontinuité à l'Est entre le groupe de l'Antongil et les séries ectinitiques synclinoriales, et le passage progressif à l'inverse des mêmes ectinites aux migmatites rubanées de l'Ouest, impliquerait un âge plus ancien pour le groupe de l'Antongil. Dans cette optique, l'arc migmatitique anticlinorial Ambodiriana aux tampoketsa de Mandritsara semble alors devoir s'interpréter, en première approximation, comme une zone de cordillère séparant les formations du sillon central Beforona-Alaotra Androna, à l'Ouest, des séries ectinitiques orientales plus ou moins discordantes à l'Est sur le "vieux socle d'Antongil".

VI- LES SERIES GRAPHITEUSES DU MANAMPOTSY-BRICKAVILLE, DE L'ANDRIBABE-BAKIRY ET DE L'ANDRANOKELY.- A- Introduction.- Sur plus de 400 km, de Tamatave au Sud au niveau de l'Androna au Nord, les séries graphiteuses forment, sur le flanc Ouest de l'anticlinorium d'Ambodiriana aux Tampoketsa de Mandritsara, une bande continue de largeur variable (5 à 50 km) que limitent à l'Ouest les formations terminales des sillons synclinaux du Beforona-Alaoatra, du Bas-Androna et de Mandritsara.

Au Sud de Tamatave, les séries graphiteuses se prolongent encore sur plusieurs centaines de km, et enveloppant la terminaison du synclinaire de Beforona au Sud, viennent ensuite se confondre à l'Ouest dans les migmatites qui constituent l'anticlinorium majeur des Hauts Plateaux de la région de Tananarive (schéma A planche 16).

Les faciès pétrographiques, unifiés par la fréquence du graphite en tant qu'élément accessoire, sont variés : gneiss, leptynites, migmatites, avec néanmoins, dans l'ensemble, une concentration très nette (par rapport notamment aux formations calco-ferro-magnésiennes des séries terminales de l'Alaoatra-Beforona et de l'Androna) des faciès silico-alumineux et leucocrates.

Les associations régionales de ces divers faciès permettent de distinguer 3 unités principales :

- la série du Manampotsy-Brickaville au Sud
- la série de l'Andribabe-Bakiry au niveau de l'Alaoatra
- la série de l'Andranokely dans l'Androna, au Nord.

La série du Manampotsy-Brickaville au Sud correspond à un ensemble surtout gneissique riche en graphite (gisements exploitables), avec localement de puissants niveaux plus ou

moins granitoïdes, à faciès particulier très caractéristique (à hornblende, grenat almandin et rare biotite, souvent graphite en trace) communément décrits dans la littérature géologique malgache sous le nom de "granites" ou de "migmatites de Brickaville".

La série de l'Andribabe-Bakiry, au Nord-Est de l'A-laotra, se caractérise par l'abondance des faciès leptynitiques fréquemment graphiteux associés à des intercalations diverses : gneiss, migmatites leucocrates à biotite, migmatites à amphibole et grenat de Brickaville. Les leptynites semblent passer en continuité au Sud aux masses principales des migmatites de Brickaville et la similitude de certains caractères géochimiques, comme nous le verrons par la suite, paraît bien confirmer la réalité de ce passage latéral.

La série de l'Andranokely, au niveau de l'Androna, correspond schématiquement à un fond de migmatites rubanées leucocrates généralement non graphiteuses, avec des intercalations ectinitiques diversifiées et d'importance variable : gneiss à sillimanite et grenat (les plus communs), khondalites, leptynites à grenat, quartzites divers, niveaux réduits de cipolins, gneiss à diopside et wernérite, wernéritites, grenatites. Le graphite, moins abondant qu'au Sud, reste présent à l'état de traces dans de nombreuses intercalations ectinitiques : quartzites, cipolins, gneiss et khondalites.

La série de l'Andranokely se divise en deux branches principales, dessinant un vaste V qui enserme la série synclinoriale granitisée de Mandritsara. La branche orientale (ou de l'Andranokely proprement dit) est surtout migmatitique, avec de nombreuses intercalations de granites leucocrates et de leptynites grenatifères qui forment l'ossature du relief.

La branche occidentale est double et moins migmatitique que la branche orientale : gneiss à sillimanite et grenat et khondalites plus abondants, nombreuses intercalations de quartzites blancs formant des crêtes allongées parfois sur plusieurs dizaines de km de longueur, rareté des intercalations leptynitiques et granitiques.

B- Historique. - Les termes de "série" et de "groupe du Manampotsy" ont été définis par J.GUIGUES en 1950 dans la région d'Antanambao-Manampotsy, à 150 km au Sud de Tamatave. La "série du Manampotsy" désignait plus particulièrement un ensemble de gneiss et de migmatites (à prédominance gneissique) riches en graphite, grenat et sillimanite, avec des intercalations fréquentes de khondalites et de quartzites, de pyroxénites feldspathiques localement abondantes à diopside, scapolite, sphène, et quelques gneiss à hypersthène. Cette série du Manampotsy est intermédiaire, à l'affleurement, entre les migmatites du Mangoro (à l'Ouest) et la série micaschisteuse du Menakarongana (à l'Est), les trois unités ainsi définies donc surtout à caractères pétrographiques et zonéographiques, constituant alors le groupe paragneissique du Manampotsy.

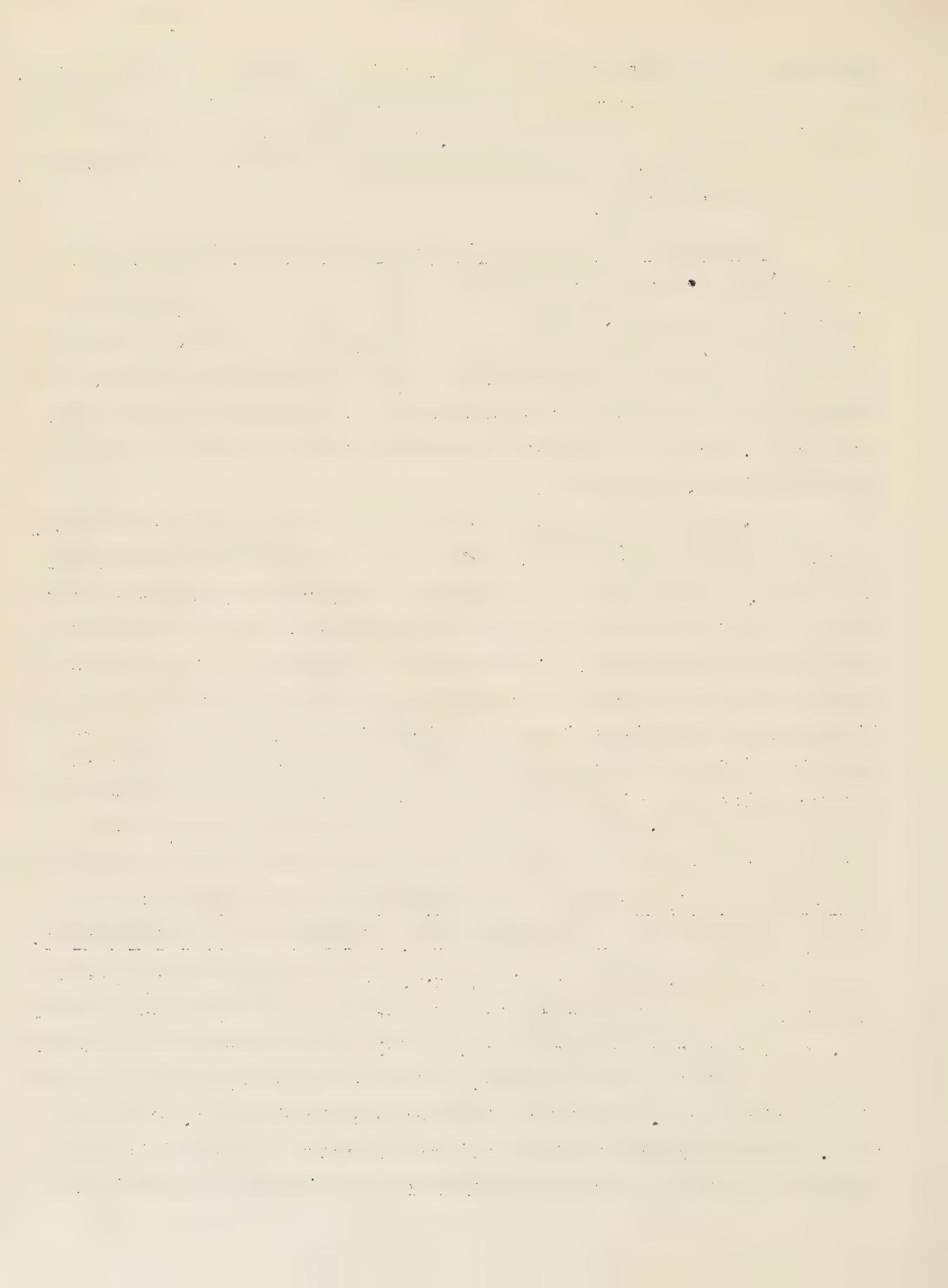
Ces termes de série, de groupe et parfois de faciès du Manampotsy se sont ensuite rapidement imposés pour désigner les principales formations graphiteuses de la côte orientale (travaux de H.BESAIRIE, R.LAUTEL, L.LAPLAINE, G.NOIZET, L.DELBOS, O.DOTTIN, R.GIRAUDON, M.RANTOANINA, entre autres). Et avec la prise en considération, par H.BESAIRIE, de la valeur du graphite en tant que repère stratigraphique (valeur amplement justifiée semble-t-il par la remarquable continuité des couches graphiteuses : cf.schéma A planche 16), le groupe du Manampotsy s'est vu représenter un ensemble stratigraphique de gneiss et de migmatites à graphite, carac-

téristique du système moyen du graphite, système intermédiaire, dans la synthèse stratigraphique d'ensemble du vieux socle précambrien malgache dressée par H.BESAIRIE, entre le système Androyen ultramétamorphique et le système terminal du Vohibory, surtout amphibolique.

Les migmatites à amphibole et grenat du Brickaville, elles-mêmes souvent graphiteuses, ont été décrites pour la première fois par A.LACROIX (en 1923) comme des orthogneiss grenatifères. Aucun des géologues précités ne paraît mettre en doute leur position intercalaire dans le Manampotsy malgré des différences notables d'interprétation : migmatite intraformationnelle, granite stratoïde métasomatique ou lame de granite syntectonique, notamment.

L'argument principal invoqué en faveur de l'interstratification des faciès Brickaville dans les gneiss du Manampotsy étant, en plus de leur gisement stratoïde strictement limité à la série graphiteuse, de la présence commune de graphite en élément accessoire, l'existence de nombreuses intercalations parfois de grande extension de gneiss du Manampotsy à l'intérieur des migmatites du Brickaville. Lors de ses levés dans la région de Vatomandry au Sud de Tamatave, la position intercalaire des migmatites de Brickaville dans les gneiss du Manampotsy est d'autre part apparue si évidente à G.NOIZET qu'elle l'a conduit à établir à ce niveau une distinction entre un Manampotsy inférieur et un Manampotsy supérieur, l'un et l'autre graphiteux, par rapport aux migmatites de Brickaville.

Au Nord-Ouest de l'Alaotra, le passage des migmatites de Brickaville à des leptynites à grenat, également graphiteuses, prolongement apparent de la série des leptynites de Marotandrano définie plus au Nord, a été cartographié pour la première fois par J.AUROUZE en 1950 et confirmé par M.BERTUCAT et J.CONRAUX (BRGM) en 1963 qui ont décrit les leptynites de ce secteur sous le nom de leptynites de l'Andribabe-Bakiry.

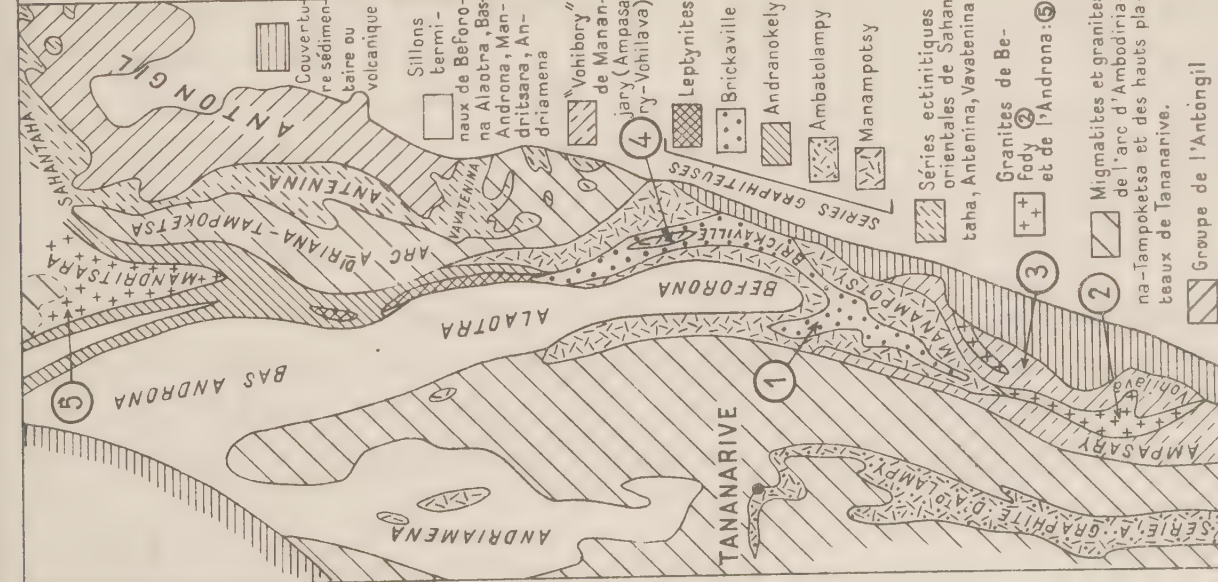
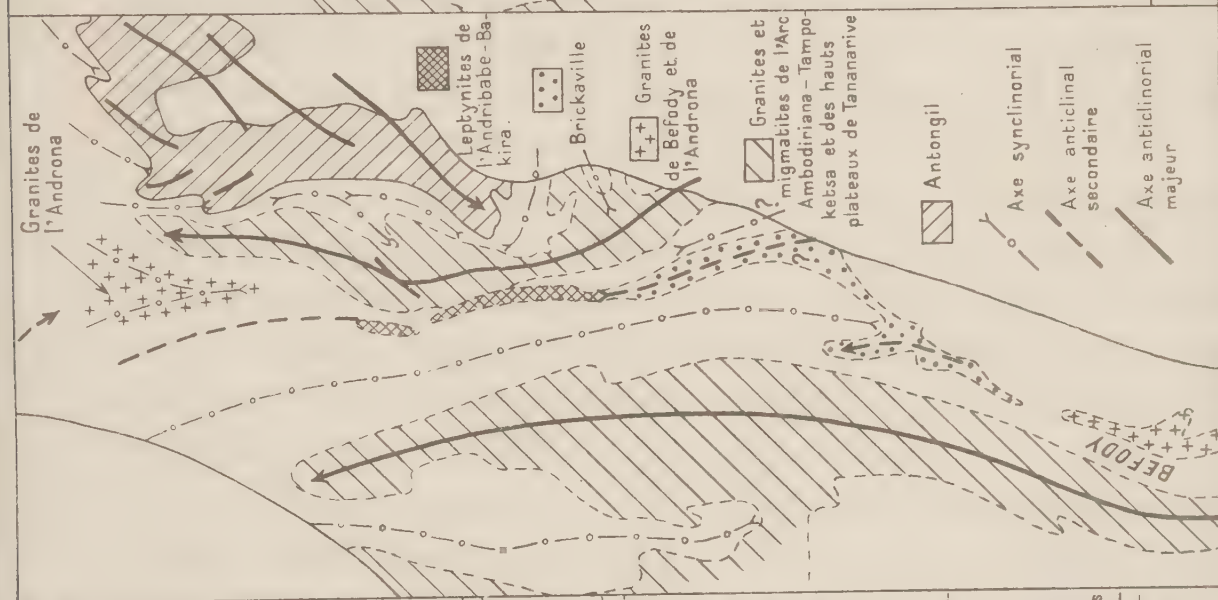
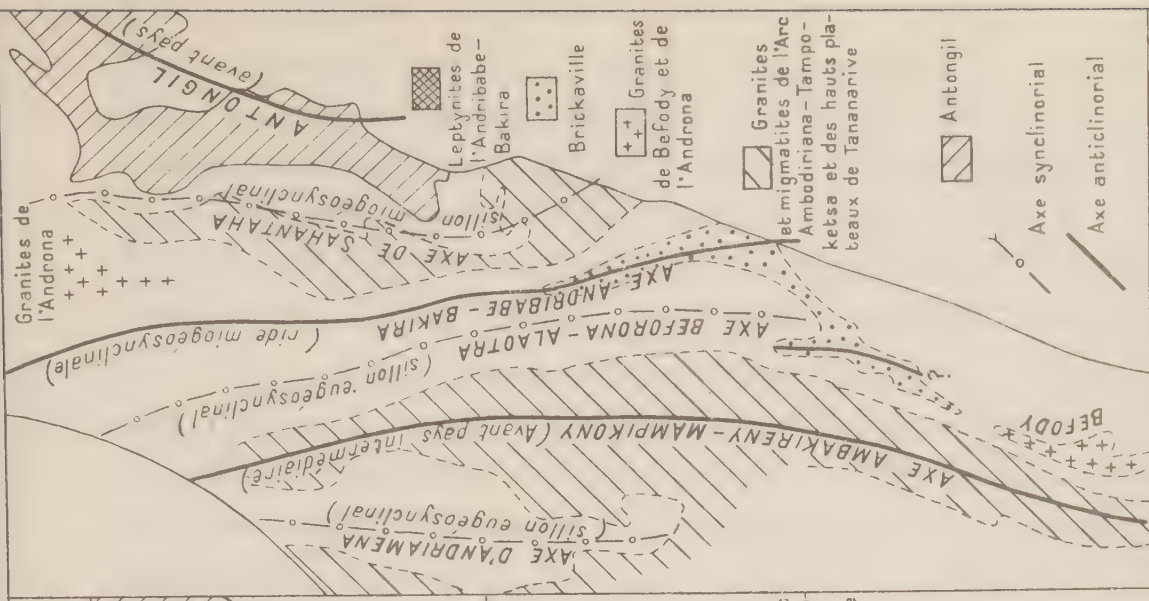


Au Nord de l'Andribabe Bakiry, l'extension de la série leptynitique à intercalations graphiteuses de J.AUROUZE, largement étalée dans la région de Marotandrano et prolongée à l'Est de Mandritsara par les leptynites de la chaîne de l'Andranokely (H. de la ROCHE 1950) correspond pratiquement à celle de la branche orientale de la série graphiteuse de l'Andranokely : migmatites, gneiss et leptynites accessoires, définie en 1964 (travaux de C.ALSAC, G.HOTTIN, J.JOO', E. LIANDRAT, J.RASOAMAHENINA). Les branches occidentales de cette série graphiteuse n'avaient pas été différenciées par contre lors des premiers levés des granites et des migmatites de l'Androna attribués alors dans leur totalité au système moyen du graphite.

- Discussion de la position intercalaire du Brickaville et de la valeur stratigraphique des séries graphiteuses du type Manampotsy.

Dans l'historique précédent, nous avons exposé les conceptions, communément admises, de l'interstratification du Brickaville dans les gneiss graphiteux du Manampotsy, et de la position stratigraphiquement inférieure de ces gneiss, à dominance silico-alumineuse, par rapport aux séries vohiboryennes terminales représentées ici par les formations amphibolopyroxéniques du Beforona-Alaotra.

Une conception différente a été récemment envisagée (M.BERTUCAT et G.JOURDE, BRGM). Dans un "essai d'interprétation stratigraphique, tectonique et paléogéographique du socle à la latitude d'Andriamena" (CRSG 1967, p.43 à 47) G. JOURDE décrit ainsi (voir schéma C planche 16) les migmatites du Brickaville et les leptynites de l'Andribabe-Bakiry comme un axe anticlinorial majeur, constituant un "socle" équivalent de la "série ancienne" de l'axe Ambakireny-Mampikony (c'est-à-dire de la majeure partie de la zone granitisée des



C Autre interprétation proposée par
G. JOURDE (B.R.G.M.) : C.R.S.G. 1966

16

MANAMPOTSY - BRICKAVILLE

Extension et interprétations structurales

B Interprétation structurale proposée d'après schéma C.R.S.G. 1965 G.HOTTIN et levers 1966

A Schéma du socle à l'Est de Tananarive de l'Androna (au Nord) à Mananjary (au Sud)

hauts plateaux de la région de Tananarive). A cette série se superpose une "série récente" qui regroupe la série graphiteuse du Manampotsy et les séries "Vohiboryennes" terminales du Beforona-Alaotra, d'Andriamena, ainsi qu'au Sud de Tamatave les séries côtières de la région de Mananjary, classiquement, elles aussi, attribuées au Vohibory (schéma A planche 16).

La valeur anticlinoriale attribuée à l'axe Andribabe-Bakiry dérive de l'observation que les migmatites de Brickaville au Sud-Ouest du synclinorium de Beforona forment effectivement, dans l'axe du Vohidrazana (cf (1) schéma A planche 16) un dôme anticlinal ceinturé par les gneiss graphiteux du Manampotsy. La même signification anticlinoriale est affectée aux formations isoclinales du Brickaville et de l'Andribabe-Bakiry proprement dites, à l'Est.

Or cet axe Andribabe-Bakiry a une valeur anticlinoriale certaine dans l'Androna au Nord (où il sépare la série du Bas Androna, prolongement Nord de celle de l'Alaotra de la série synclinoriale granitisée de Mandritsara) ; mais plus au Sud, ce caractère anticlinal, et surtout son rôle majeur, ne paraissent pas évidents.

Les leptynites de la région de l'Andribabe-Bakiry ne constitueraient au contraire, à notre avis, que le flanc Ouest du vaste arc anticlinorium de migmatites rubanées développé entre Ambodiriana et les hauts plateaux de l'Est de Mandritsara, qui représente l'unité anticlinoriale majeure réelle de cette région. La superposition des schémas B et C de la planche 16 fait bien ressortir la différence essentielle existant à ce niveau entre les deux conceptions proposées.

Au niveau de nos levés sur la feuille Vohimenikely, de même que dans la région de Tamatave d'après les coupes de R.GIRAUDON, il semble également que la structure du Brickaville peut parfaitement s'accorder avec l'hypothèse d'un ou

plusieurs niveaux, de puissance croissante d'Est en Ouest, intercalés dans les gneiss graphiteux du Manampotsy, comme nous essaierons de le montrer avec la description des coupes schématiques reproduites sur les planches 20 et 21.

D'autre part, il faut remarquer que l'existence du dôme du Vohidrazana n'apporte pas la preuve par lui-même que les migmatites de Brickaville ne sont pas là aussi en gisement intercalaire. Il existe également, à l'échelle régionale, une disproportion très importante entre la taille de la structure du Vohidrazana et l'aspect filiforme de "l'axe Andribabe-Bakiry" d'une part, et, d'autre part, l'ampleur des masses anticlinoriales migmatitiques de l'axe Ambakireny-Mampikony (ou des hauts plateaux de Tananarive) à l'Ouest, et de l'axe Ambodiriana-tampoketsa de Mandritsara, à l'Est.

Le second point de controverse concerne la valeur du Manampotsy, c'est-à-dire des séries graphiteuses, en tant qu'unité stratigraphique régionale.

Tirant argument de ce que de l'Alaotra à la région de Mananjary les séries à dominance ectinitique attribuées classiquement soit au Manampotsy, soit aux séries du Beforona-Alaotra, soit au Vohibory côtier de la région de Mananjary (séries de Vohilava, de la Maha et de l'Ampasary), montrent souvent dans le détail une évolution lithologique comparable (base silico-alumineuse et sommet plus calcique) et d'arguments structuraux (comme la position anticlinale du Brickaville), M.BERTUCAT est amené à considérer (CRSG 1964 p.119-124) "le groupe du Manampotsy-Ampasary comme un passage latéral du groupe Beforona-Alaotra".

Pour les séries côtières de la région de Mananjary, (Ampasary, Vohilava, Maha) classiquement attribuées au Vohibory terminal, mais accessoirement graphiteuses et plus ou moins différenciées, nous nous accorderions volontiers avec

M.BERTUCAT pour y voir un équivalent latéral possible des séries graphiteuses du Manampotsy, de la même manière que les séries côtières de Vavatenina, Antenina et Sahantaha, au Nord, peuvent être considérées pour la majeure partie comme les équivalents stratigraphiques des séries graphiteuses internes. Il faut signaler d'ailleurs que M.BERTUCAT voit également dans une partie de l'ancienne série vohiboryenne côtière de la Maha (série de la Masora pro parte cf.(3) schéma A planche 16) un "vieux socle" équivalent de l'Antongil au Nord.

Au niveau de l'Alaoatra, par contre, nous pensons que la preuve de l'assimilation du Manampotsy au Beforona-Alaoatra n'est pas faite. L'assimilation stratigraphique notamment de la "base silico-alumineuse et graphiteuse" de l'Alaoatra au Manampotsy de la région de Tamatave reposerait en effet essentiellement ici sur la position fondamentale attribuée aux migmatites isoclinales de Brickaville. Elle ne se justifie pas, si l'on admet conformément à la conception classique, que les migmatites du Brickaville à intercalations graphiteuses ne constituent elles-mêmes qu'un simple niveau intercalaire dans la série graphiteuse du Manampotsy.

Il existe bien dans la série pyroxéno-amphibolique du Beforona-Alaoatra quelques niveaux graphiteux (à graphite en traces associé surtout à des alignements de quartzites) qui ne peuvent apparemment pas toutes s'interpréter comme des réapparitions anticlinales du Manampotsy sous-jacent. Mais plutôt que d'y voir une preuve d'assimilation stratigraphique possible de la masse pyroxéno-amphibolique de l'Alaoatra à la masse essentiellement silico-alumineuse du Manampotsy, nous pensons qu'il s'agit plus simplement de récurrences sédimentologiques accidentelles.

Enfin, l'argument majeur à notre sens en faveur de la valeur stratigraphique des séries graphiteuses, c'est la stricte limitation du graphite dans l'Androna à la série silico-

alumineuse et graphiteuse de l'Andranokely, prolongement exact du Manampotsy-Brickaville. Le graphite étant au contraire totalement absent des vastes ensembles migmatitiques (épiholites et agmatites à fond pyroxéno-amphibolique) du Bas Androna et de Mandritsara, situés en position synclinoriale constante sur la série de l'Andranokely et prolongeant, de façon évidente, les séries terminales du Beforona-Alaoatra.

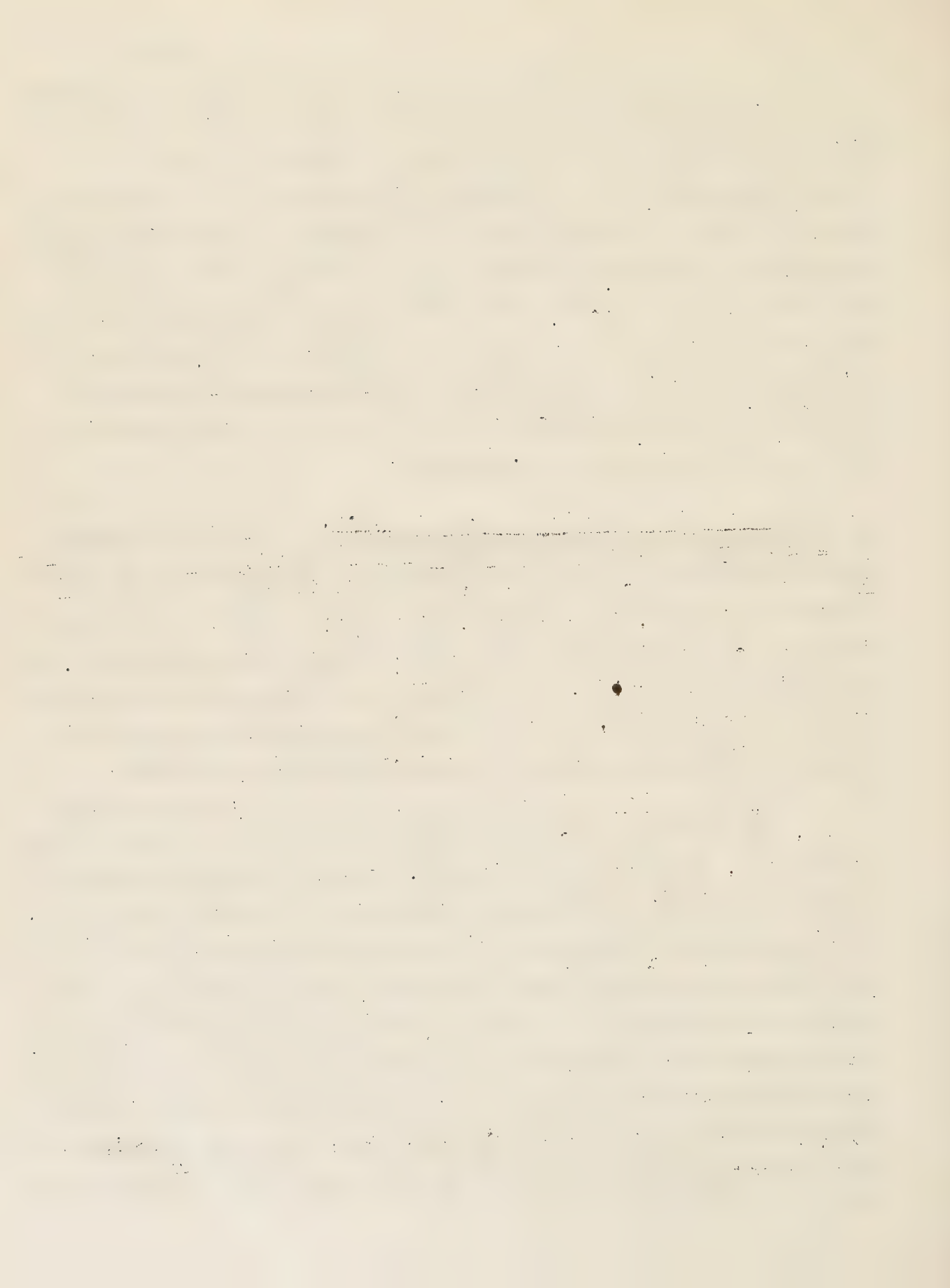
A partir d'une conception structurale d'apparence assez semblable, nous aboutissons ainsi à un schéma stratigraphique d'ensemble pour cette région très différent de celui proposé par G.JOURDE et M.BERTUCAT.

Mise à part la position de l'axe majeur dans l'Andriba-be-Bakiry, le schéma structural proposé en 1967 par G.JOURDE paraissait bien en effet, dans l'ensemble, aller dans le même sens que ce que nous exprimions, l'année précédente, en conclusion de notre communication (Contribution à la géologie du Nord-Est) à la Semaine géologique 1966 (p.91-92) en écrivant : "En situant le système constitué par les séries silico-alumineuses à graphite et les séries calco-ferro-magnésiennes supérieures au-dessus d'un vieil ensemble rétro-morphosé à épidote possédant sa tectonique propre différente de celle du système graphitique, on aboutit à un schéma structural simple dans lequel se détachent les sillons synclinaux subméridiens du Beforona-Alaoatra et du Mandritsara. Le Brickaville apparaît correspondre à une ride anticlinale granitisée de la série silico-alumineuse. Les séries de la Sahantaha, d'Antenina (cette dernière sans doute prolongée au Sud par les bancs silico-alumineux de la partie Ouest des séries actuelles de Vavatenina et de l'Ambodiriana) se situent enfin en bordure du système graphitique, en couverture plus ou moins plissée, moulées sur les directions tectoniques du vieux socle qui réapparaissent parfois dans les axes anticlinaux majeurs".

On voit que par ce schéma, à la différence de G.JOURDE pour qui toutes les séries situées de part et d'autre des trois axes "granitisés" constituant la "série ancienne" : (Ambakireny-Mampikony = avant-pays intermédiaire), Andribabe-Bakiry = ride miogéosynclinale) et Antongil = avant-pays) sont équivalentes (schéma C planche 16) et appartiennent à la même "série récente", nous conservons la distinction, dans la zone centrale de l'île, entre un "ensemble" graphiteux inférieur (assimilable au "système" du graphite de H.BESAIRIE) et l'ensemble terminal Beforona-Alaoatra-Andriamena-Androna qui paraît bien ici correspondre à la définition stratigraphique du Vohibory terminal de H.BESAIRIE.

C- Pétrographie des séries graphiteuses.- 1- Série du Manampotsy-Brickaville : a- Série gneissique du Manampotsy.- La série type dans la région de Tamatave se définit comme un fond de gneiss à biotite, leucocrates, bien foliés, avec des passées importantes de migmatites rubanées, à trame micaschisteuse, ou gneissique surmicaolée, et de nombreuses intercalations ectinitiques diversifiées, pour la plupart quartzitiques ou alumi-neuses, plus accessoirement à caractère silico-calcique.

Le graphite existe surtout, en tant qu'élément accessoire, avec le grenat ou la sillimanite dans les gneiss et les migmatites. Dans certains niveaux, dont la puissance varie de quelques décimètres à quelques dizaines de mètres (20 à 40 m), la proportion en graphite peut devenir importante. Les principaux gisements actuellement exploités dans la région de Tamatave correspondent à des bancs de gneiss et de migmatites schisteuses dans lesquelles la proportion moyenne en graphite, sur quelques dizaines de mètres de puissance et quelques centaines de mètres à quelques km en allongement, est supérieure à 5% (en général comprise entre 5 et 15%), avec quelques enrichissements spectaculaires (plus de 50 %) formant des intercalations



de puissance décimétrique à métrique discontinues. Dans les migmatites, le graphite est, de façon caractéristique, concentré essentiellement dans la trame schisteuse mélanocrate.

Les intercalations ectinitiques diversifiées constituent des niveaux de puissance très variable (décimétrique, métrique à décamétrique) : micaschistes, khondalites, quartzites, grenatites, pyroxénites à diopside et scapolite, quelques amphibolites et gneiss à pyroxène, amphibole et grenat. On peut les regrouper, comme l'a fait J.GUIGUES dans le Manampotsy type de la région de Vatomandry, en "ensembles lithologiques" ou "phases" silico-alumineuse ou "pélitique", "calcique ou silico-calcique" et "quartzitique". Dans la région type du Manampotsy, J.GUIGUES distinguait aussi une phase magnésienne (qui n'existe pas dans la région de Tamatave) caractérisée par la présence de schistes à trémolite, talc, chlorite, et attribuée au métamorphisme de sédiments magnésiens.

La "phase" silico-alumineuse ou pélitique, largement dominante dans la région de Tamatave, regroupe ainsi les gneiss à biotite, grenat ou sillimanite, les migmatites schisteuses dérivées, les niveaux intercalaires métriques de khondalites et de micaschistes généralement à grenat et sillimanite, des niveaux réduits de leptynites alumineuses (à grenat ou à sillimanite) et des intercalations accidentelles de grenatites et de sillimanitites, définies par le minéral dominant, ces deux minéraux y étant toujours pratiquement associés, avec un peu de quartz. Beaucoup de ces faciès intercalaires contiennent des traces de graphite.

Par ordre d'importance vient ensuite la "phase" quartzitique. Les quartzites essentiellement quartzeux, à faciès itacolumite, sont les plus abondants, constituant les bancs les plus continus (parfois visibles sur plusieurs dizaines de km) et les plus épais (puissance d'ordre décamétrique). Les

quartzites à graphite forment des bancs métriques, en général intercalés dans les gneiss et les micaschistes à graphite. Le graphite y est dispersé, peu abondant, et ces niveaux quartzitiques à graphite font partie des stériles dans les gisements exploités.

Les quartzites à sillimanite, en lits fibreux discontinus, contenant souvent un peu de biotite et de magnétite, sont assez fréquents. Les quartzites à magnétite sont au contraire rares. On ne les rencontre généralement qu'en blocs éluviaux. Les autres faciès accidentels sont des quartzites micacés (à muscovite ou biotite) à grenat (passant à des grenatites quartzeuses) à pyroxène (diopside), ces derniers également souvent plus ou moins grenatifères. Les traces de graphite sont communes notamment dans les faciès à grenat et pyroxène.

La phase silico-calcaïque est représentée par des pyroxénites, en bancs métriques ou discontinus interstratifiés dans les gneiss ou migmatites à diopside. Les pyroxénites sont à diopside (ou diopside hédénburgite), plagioclase basique (bytownite-anorthite) et sphène. La scapolite est fréquente, parfois en proportion égale ou supérieure à celle du plagioclase. Accessoirement on trouve encore hornblende verte, phlogopite, microcline interstitiel, grenat, calcite, épidote et des traces de graphite. Les niveaux purement amphiboliques (à hornblende verte, plagioclase, sphène et mine-rai) sont rares. Les cipolins ne sont connus qu'en deux points au Sud de Tamatave, associés à des amphibolopyroxénites.

Les amphibolopyroxénites grenatifères (à diallage ou hypersthène résiduels) plus ou moins nettement associées à des pointements de gabbros noritiques orthogneissifiés ne sont pas spécifiques du Manampotsy.

Avec cette classification des différents faciès litho-

logiques dans la série du Manampotsy, il semble à première vue que l'on puisse aboutir à une succession assez semblable à celle des séquences décrites dans les séries ectinitiques orientales de type Sahantaha-Mahakiry et à un moindre degré d'Antenina et de Vavatenina. En fait, les principales unités lithologiques (quartzitique, silico-alumineuse et silico-calciue accessoire) ne se regroupent pas dans le Manampotsy en puissantes séquences superposées passant plus ou moins progressivement de l'une à l'autre comme dans les séries orientales, mais se retrouvent au contraire à travers toute la série, en alternances répétées d'ordre décimétrique, métrique à décamétrique. On ne possède pas de coupes continues vraiment précises du Manampotsy, mais ce caractère d'alternances rythmiques ressort bien, par exemple, de l'analyse des nombreuses monographies publiées sur les gisements et les multiples indices de graphite de la série. A l'échelle de l'affleurement, un autre caractère est la succession brutale des faciès, sans termes de passage progressif, notamment entre micaschistes, gneiss quartzeux à biotite et sillimanite d'une part, et quartzites blancs, ainsi que la continuité remarquable des niveaux sur d'assez grandes distances, compte tenu de leur faible puissance : bancs quartzitiques francs réguliers de puissance généralement décamétrique, lignes graphiteuses métriques dans les gneiss, minces niveaux pyroxéniques suivis par exemple les uns et les autres sur plusieurs dizaines de km.

Il paraît hypothétique de chercher à caractériser un type de sédimentation considéré jusqu'à présent (d'après les mesures d'âge apparent) comme réalisé il y a près de 3 milliards d'années (antérieur à l'orogénèse majeure de 2600 MA). Il semble néanmoins que la plupart des caractères énumérés ci-dessus s'apparentent assez étroitement à ceux de certains flysh schisteux ou charbonneux tels que les décrit A.LOMBARD

(Géologie sédimentaire p.568) : "La fréquence des schistes dans le flysh contribue à lui conférer un faciès très particulier. Ces schistes, rarement compacts, sont feuilletés... La masse fondamentale du schiste est composée d'argile. Cette argile rendue sombre par des matières charbonneuses, est souvent sableuse. Les lits schisteux et argilo-gréseux sont en alternance avec des grès. Ils sont tantôt plus épais, tantôt plus minces que les bancs gréseux. Ils passent latéralement et verticalement à des calcschistes et à des ardoises... "Et plus loin à propos du flysh à dominance pélitique ultrahelvétique : "Les schistes sont associés à des grès en bancs, avec lesquels ils alternent en récurrences très nettes. Il n'y a pas de passage entre les deux termes mais un saut brusque". Et à propos des calcaires : "Les calcaires apparaissent rarement en grands complexes mais plutôt en lentilles accidentelles ou en bancs intercalaires dans les sédiments détritiques".

Le fond originel du Manampotsy de la région de Tamatave correspondrait ainsi assez bien à une sédimentation comparable de type flysh à dominance argileuse et argilo-gréseuse, impuretés charbonneuses, phase quartzitique plus ou moins développée et phase marneuse et marnocalcaire très accessoire.

b- Le Brickaville. - Le type de la formation est pris dans les carrières de Brickaville. C'est une roche granitoïde claire à gros grain, souvent porphyroblastique, à amphibole, grenat et biotite. L'orientation est nette à l'affleurement. A l'oeil, l'aspect est caractéristique avec les phénoblastes de grenat rose atteignant couramment le centimètre qui parsèment l'ensemble de la roche et les taches verdâtres de hornblende et de biotite associées qui ont au contraire tendance à se disposer en amas plutôt qu'en lits continus, ce qui contribue à accentuer l'aspect granitoïde de l'échantillon.

Au microscope, le quartz présente souvent une extinction roulante, le feldspath potassique est un microcline quadrillé. Le plagioclase (rare) est de l'oligoclase acide en inclusions ou interstitiel, avec une bordure réactionnelle plus claire d'albite ou développement de myrmékite au contact du microcline. L'amphibole domine sur la biotite rare (ou même souvent absente dans les faciès grenus les plus typiques). C'est une hornblende verte souvent très pléochroïque. Accessoirement, outre la biotite (elle-même très pléochroïque), on trouve encore magnétite, sphène, apatite et souvent un peu de graphite. Ce faciès type, avec des variantes texturales ou minéralogiques : aspect plus migmatitique ou plus gneissique, proportions variables en amphibole, grenat et biotite (amphibole et grenat étant néanmoins toujours présents) se retrouve de façon remarquable entre le Sud Vatomandry et le Maningory au Nord, soit sur plus de 300 km formant une bande continue large à l'affleurement de 1 à 10 km, strictement limitée à la série graphiteuse du Manampotsy.

Du point de vue chimique, les faciès granitoïdes types correspondent à des granites calco-alcalins évolués (teneur en silice voisine de 70%, forte teneur en K_2O 5 à 6%) avec absence presque totale de MgO (analyses 1, 2, 3 planche 17 et diagramme KCM planche 18).

Dans ces faciès granitoïdes apparaissent accessoirement des passées granodioritiques, souvent à faciès malgachitique, en lentilles, amas ou masses stratiformes irrégulières. Ce sont des roches grenues vert sombre à oligoclase andésine (souvent dominant), perthite, quartz, hypersthène toujours présent mais résiduel, grenat, apatite, sphène. La hornblende est le minéral ferro-magnésien prédominant de ces roches, que de nombreux auteurs ont classé néanmoins dans les séries de "charnockites" basiques à cause de la présence d'hypersthène et surtout de leur faciès "malgachitique" (coloration

verdâtre des feldspaths, sur échantillon frais, à jaune cassonade dans les zones d'altérations superficielles). Elles abondent surtout sur la bordure Ouest du Brickaville, c'est-à-dire sur le pourtour du sillon terminal du Beforona Alaotra, lui-même riche en faciès de "charnockites" acides et basiques, le plus souvent étroitement associées aux principales masses des gabbros noritiques orthogneissifiés de l'Alaotra.

Par analogie, certains auteurs ont alors tiré argument de la présence de granodiorites et de "charnockites" plus ou moins basiques "résiduelles", ainsi qu'accessoirement d'enclaves d'amphibolites et d'amphibolopyroxénites grenatifères, pour voir dans la totalité des granites à grenat et amphibole de Brickaville, le résultat de la "granitisation" par métasomatose siliceuse et potassique d'un matériel basique originel. Cette hypothèse a été ainsi plus ou moins explicitement exprimée à l'époque des premiers levés de reconnaissance. M. BERTUCA et J. JOURDE, dans leurs "considérations sur la stratigraphie du socle" (CRSG 1966) semblent adopter pour une partie du Brickaville une opinion assez proche en interprétant comme une série de base, "située à la base des anticlinaux, sous la série silico-alumineuse" (soit ici sous le Manampotsy) et "constituée par des roches granitisées, dérivant généralement de roches silico-alumineuses (la série de l'Andribabe-Rakiry : leptynites et granites de Brickaville) mais aussi parfois de vieux gabbros, appelés "granites de Brickaville".

Il ne nous a pas semblé cependant, sur la feuille Vohimenakely, que la masse leucocrate du Brickaville soit génétiquement liée aux divers septas basiques : vieux gabbros orthogneissifiés, amphibolopyroxénites, que l'on y rencontre accessoirement, comme dans les autres séries du socle. Les faciès intermédiaires de migmatites granodioritiques ou

charnockitiques qui accompagnent ces septa dans les zones granitoïdes leucocrates n'y représentent à notre avis que des faciès de contamination limités. La comparaison de l'analyse 4 (type de migmatite granodioritique intermédiaire) et de l'analyse 9 (tirée de la thèse de R.GIRAUDON et qui représente un faciès de contamination réalisé dans les migmatites rubanées de la série d'Ambodiriana, au contact de la lentille d'ultrabasite chromifère de Ranomena) peut, semble-t-il, illustrer cette conception : la composition chimique des 2 roches est à peu près semblable, ce que souligne la position voisine des 2 points représentatifs sur les diagrammes des planches 18 et 19, où ils se séparent nettement, par contre, de l'ensemble des points représentatifs des faciès Brickaville.

Personne n'a évidemment jamais émis l'hypothèse que les migmatites rubanées de la série d'Ambodiriana pouvaient dériver de la "granitisation" des lentilles basiques et ultrabasiques de type Ranomena. Il n'est pas plus justifié de faire dériver la masse leucocrate du Brickaville (à almandin et hornblende ferrifère) de la granitisation des roches basiques (essentiellement noritiques et magnésiennes) que l'on y rencontre accidentellement comme dans toutes les autres séries du socle, (sans accompagnement, d'ailleurs, de l'apparition du "faciès Brickaville").

Le Brickaville contient de nombreuses intercalations des ectinites du Manampotsy : gneiss et micaschistes à graphite, quartzites divers, niveaux hyperalumineux, migmatites diverses à biotite, rubanées ou granitoïdes, leptynites grenatifères ou à sillimanite, quelques amphibolites et parapyroxénites à diopside.

Ces intercalations existent parfois en petits niveaux discontinus (quartzites et leptynites surtout) mais le plus souvent en association des divers faciès, constituant des

niveaux plus ou moins puissants et continus. Les intercalations ectinitiques diversifiées et graphiteuses (exploitées pendant plusieurs dizaines d'années) de la vallée de la Sahanavo, avec une puissance totale de l'ordre de 100 m, et reconnues sur une vingtaine de km, sont ainsi parmi les plus caractéristiques des nombreux niveaux de Manampotsy intra-Brickaville décrits successivement par H.BESAIRIE, G.NOIZE, L.DELBOS, J.GUIGUES, L.LAPLAINE, R.GIRAUDON, M.RANTOANINA.

La terminaison Nord du Brickaville, au niveau de la feuille Vohimenakely, de part et d'autre du Maningory, correspond à des faciès dominants fortement orientés, d'allure "migmatitique" et parfois franchement "gneissique". Les passées ectinitiques de type Manampotsy y sont nombreuses, mais surtout il s'y intercale de nombreux bancs leptynitiques.

Dans les parties Sud et médiane de la feuille, ces bancs leptynitiques souvent grenatifères forment de nombreuses intercalations métriques à décamétriques dans la masse du Brickaville. Un niveau à dominance leptynitique plus important (400 à 500 m de puissance) divise en outre en deux moitiés pratiquement équivalentes la bande du Brickaville. Au Nord du Maningory, ce niveau leptynitique se confond ensuite dans la chaîne de l'Andranomena, avec le prolongement Sud de la chaîne leptynitique de l'Andribabe-Bakiry (cf. schémas planches 20 et 21) où le Brickaville n'est plus représenté. Des bancs leptynitiques existent également à l'Est dans la masse des gneiss graphiteux du Bekotra, prolongement du Manampotsy de la région de Tamatave et à l'Ouest les formations silico-alumineuses superposées au Brickaville ("base" de la série de l'Alaotra ou Manampotsy "supérieur").

Les leptynites dominantes au Nord de la chaîne de l'Andranomena sont des roches presque hololeucocrates, souvent grenatifères et à lentilles de quartz aplati, accessoirement graphiteuses, tandis que dans les parties médianes et

Sud de la feuille Vohimenakely, abondent au contraire les faciès de passage progressif aux migmatites de Brickaville, par apparition progressive d'amphibole, en particulier dans les faciès grenatifères leucocrates à texture leptynitique à quartz "aplatis" caractéristique.

Le report des analyses chimiques (analyses 5,6,7,8 planches 17) des migmatites de type Brickaville et des leptynites intermédiaires de la feuille Vohimenakely, sur les diagrammes des planches 18 et 19 paraît confirmer la réalité de ce passage progressif, en soulignant dans la totalité des représentations utilisées, le regroupement caractéristique de ces divers faciès autour des faciès types (1,2,3) des granites de Brickaville. Nous reprendrons d'ailleurs de façon plus complète dans un paragraphe ultérieur, l'examen comparé de la géochimie du Brickaville et des leptynites de la série graphiteuse.

c- Localisation et hypothèses sur l'origine possible du graphite dans la série du Manampotsy. - Dès les premières reconnaissances, l'hypothèse classique d'une origine sédimentaire du graphite de la série du Manampotsy à partir de matières carbonées (impuretés charbonneuses, algues primitives?) semble avoir été retenue comme un fait d'évidence (A.LACROIX 1922, H.BESAIRIE et al. 1951).

Mais tout récemment, à partir de l'observation de variations de répartition avec les données structurales et "notamment l'accroissement dans les zones anticlinales et la présence dans les dislocations", l'hypothèse d'une origine "à partir de matières organiques susceptibles de mobilité : hydrocarbures, pétrole et bitume" a été suggérée (G.NOIZET CRSG 1965 p.117-118).

M.BERTUCA et G.JOURDE dans leurs "Considérations sur la stratigraphie du socle malgache" (CRSG 1966) semblent adop-

ter un point de vue analogue à propos des niveaux graphiteux de l'extrême Sud de Madagascar (p.111) : "Les concentrations de graphite dans les zones anticlinales ou périclinales pourraient ainsi trouver une explication logique si, comme on l'admet, il dérive d'hydrocarbures : il proviendrait de la concentration de ceux-ci dans les dômes anticlinaux précoces, à couverture étanche ?". Une telle hypothèse, en faisant du graphite un matériel à l'origine essentiellement "migrant", va dans le sens de la remise en cause de la valeur stratigraphique des couches graphiteuses. Il semble qu'on admette implicitement que le graphite se soit concentré dans les roches magasins normales, c'est-à-dire dans le cas d'une série à dominance silico-alumineuse comme celle du Manampotsy, dans les bancs gréseux ou argilo-sableux originels.

Dans le Manampotsy, la liaison des quartzites et des bancs graphiteux paraît en effet caractéristique ; et dès 1889, le R.P. BARON écrivait à ce sujet : "Le quartzite et le graphite se trouvent si souvent en association que l'on en vient à croire que partout où l'on voit l'un d'eux, l'autre est à peu près sûrement à proximité (Antananarivo Annual p.59, 1885)". De même, J. BOUÉ (B.E. 1914, p.149) : "Une caractéristique des affleurements de graphite est que dans leur voisinage et les suivant parallèlement, se trouve une forte éruption de quartz blancs contemporaine du minerai". De même G. NOIZET (CRSG 1965) met aussi l'accent sur la localisation du graphite dans "les bancs silico-alumineux d'origine sédimentaire indubitable, quartzites, gneiss à sillimanite et grenat etc...".

Cependant, si on cherche à préciser la répartition du graphite dans les différents faciès lithologiques du Manampotsy, comme le faisait déjà J. GUIGUES pour la région de Vatomandry en 1950 (TBG.n°13, p.76), on s'aperçoit que l'on peut classer les roches graphiteuses en 2 catégories :

100

100

Journal of Management Studies, 19(1), 67-80.

• 18 •

- Dans la première, le graphite n'est présent qu'à l'état de paillettes isolées ; ce sont les quartzites, les leptynites, les migmatites granitoïdes (Brickaville), ainsi que les gneiss plagioclasiques à diopside et les pyroxénites, et accessoirement des filons de quartz et de pegmatites recoupant les séries graphiteuses, qui contiennent parfois du graphite bien cristallisé dispersé (graphite en "aiguilles") ou en poches.

- La seconde catégorie regroupe toutes les roches qui renferment des concentrations de graphite importantes sur de longues distances ; ce sont essentiellement les micaschistes, les gneiss et très souvent la trame surmicacée des migmatites schisteuses (alors que la "phase" leucocrate largement grenue ne contient au contraire du graphite qu'à l'état dispersé).

Ce schéma est constant et en compulsant les monographies minières, on est frappé par la multiplicité des exemples, dans lesquels les niveaux quartzitiques existent presque toujours, mais sont systématiquement classés dans la catégorie des stériles à graphite dispersé.

Cette répartition semble ainsi cadrer assez mal avec l'hypothèse d'une origine à partir d'hydrocarbures puisque les roches magasins types (grès, arkoses, niveaux marno-calcaires) sont stériles. Le graphite se trouve au contraire concentré avec des teneurs globales de l'ordre de 5 à 15% sur quelques dizaines de mètres de puissance, et des variations rapides (à l'échelle du décimètre ou même du centimètre) au niveau de certaines des formations gneissiques, micaschisteuses ou migmatitiques, issues de formations argileuses ou pélitiques imperméables, qui constituent le fond de la série.

On pourrait évidemment invoquer le fait que les hydrocarbures ont pu être chassés des roches hôtes habituelles au cours du métamorphisme, mais on voit mal alors la raison pour

laquelle ils auraient été conservés ou concentrés dans les niveaux argileux intercalaires.

L'hypothèse classique de pélites à impuretés charbonneuses "en place" pour l'essentiel dans un contexte sédimentaire banal de schistes argileux, de grès, et de niveaux mar-no-calcaires, s'accorde beaucoup mieux, semble-t-il, avec les caractères de gisement observés.

Les phénomènes accessoires de concentration du graphite dans les charnières anticlinales, et le long de fractures, existent néanmoins.

Pour la concentration du graphite dans les charnières anticlinales, il faut peut-être établir une distinction entre l'épaississement normal des couches graphiteuses incompétentes dans ces charnières et leur enrichissement relatif possible. La plasticité des couches graphiteuses est en effet bien connue et H.BESAIRIE le souligne en insistant sur le fait "qu'au milieu des formations régulièrement orientées, les niveaux graphiteux (plastiques) sont affectés d'anomalies tant en direction qu'en pendage". L'épaississement des couches pé-litiques et graphiteuses plastiques au niveau des charnières anticlinales correspond à un phénomène mécanique banal identique à celui que l'on retrouve d'ailleurs classiquement dans les couches charbonneuses plissées en terrains sédimentaires (J.GOGUEL. Tectonique 1962, p.194).

Pour expliquer l'enrichissement, on pourrait évidemment, toujours dans la même optique, avancer à l'extrême rigueur que les couches charbonneuses ou graphiteuses initialement plus riches, plus légères, ont favorisé l'amorce et l'implantation à leur niveau des structures anticlinales. Mais cet argument paraît assez "léger" par lui-même, étant donné la faible puissance des couches graphiteuses riches à l'échelle de la série. Il n'explique pas, en outre, la présence certaine mise en re-

lief par G.NOIZET, du graphite le long des dislocations : "La faille de décrochement de la Sahatsandra est une bande de 400m de largeur avec minéralisation moyenne en graphite (maximum 3%) assez régulièrement répartie suivant les quelques 10 km prospectés".

Ceci implique-t-il néanmoins une migration à l'état d'hydrocarbures ?

Dès 1913, W.LINDGEN a fait intervenir l'hypothèse d'un passage par les composés CO et CO₂ pour expliquer la formation de graphite à partir de couches charbonneuses, au cours du métamorphisme. Selon cette hypothèse, la matière charbonneuse subit d'abord une transformation en gaz carbonique, à partir de 550°, suivant la réaction $C + 2H_2O \rightleftharpoons CO_2 + 2H_2$. Le gaz carbonique réagit ensuite sur le carbone vers 600° et au-dessus pour donner l'oxyde de carbone $CO_2 + C \rightleftharpoons 2CO - 42 \text{ cal.}$ La réaction étant endothermique, il y a dépôt de graphite stable à haute température.

On sait également qu'on obtient le graphite industriellement en chauffant à 4.000° le carbone en présence de catalyseurs (silice, alumine, fer) qui favorisent la formation de carbures instables intermédiaires. Une mobilisation chimique partielle du carbone au cours du métamorphisme sous forme de composés volatils ou en solution se conçoit donc et expliquerait aussi bien que l'hypothèse des hydrocarbures originels un enrichissement relatif en graphite au niveau d'aires anticlinales, sa présence dans des zones de dislocation (tardives par rapport au métamorphisme), et accessoirement, de même, les poches et inclusions de graphite des pegmatites et des filons quartzeux.

Rien ne justifie donc à notre avis pour la série graphiteuse du Manampotsy, l'abandon de la conception classique d'une origine pour l'essentiel à partir de la recristallisa-

tion de niveaux pélitiques plus ou moins charbonneux, donc à signification stratigraphique certaine, avec accessoirement une mobilisation partielle possible du matériel carboné, connexe du métamorphisme et responsable avec le comportement mécanique particulier des formations carbonées ou graphiteuses, des anomalies structurales de concentration remarquées.

2- Série leptynitique de l'Andribabe-Bakiry. - Au Nord du lac Alaotra, cette série apparaît essentiellement comme la transition entre les gneiss du Manampotsy et le Brickaville, au Sud, et la série gneissico-migmatitique, accessoirement leptynitique de l'Andranokely au Nord.

Les leptynites de la chaîne de l'Andribabe-Bakiry sont des roches à tendance hololeucocrate, massives ou schisteuses (et dans ce cas généralement à fuseaux de "quartz aplati" caractéristiques). Elles sont essentiellement formées de quartz, de perthite très abondante, et de quelques cristaux de grenat. Les faciès grenatifères sont en effet les plus communs ; accessoirement il peut apparaître un peu de biotite et d'amphibole disséminées dans la masse, ou de sillimanite groupée en plaquettes de fibres flexueuses. Le faciès fibrolite, à gros nodules de quartz et sillimanite, est inconnu.

Le graphite, en paillettes dispersées dans la masse, est un élément accessoire commun, mais non constant.

La structure d'ensemble est granoblastique isogranulaire. Tout l'ensemble leptynitique, même en l'absence d'intercalations ectinitiques, est en plus très régulièrement lité. Ce litage, centimétrique à décimétrique, résulte souvent autant de variations minéralogiques (bancs avec ou sans grenat, biotite ou amphibole accessoires) que de différences dans la grosseur du grain, souvent à l'intérieur d'un même faciès minéralogique. Ces dernières étant d'ailleurs surtout accusées dans les faciès granitoïdes accessoires, qui vont du granite

rose perthitique hololeucocrate ponctué de quelques cristaux de magnétite, à texture aplitique, mais toujours à dominance perthitique, à des termes plus grossièrement grenus, d'allure migmatitique à biotite ou amphibole accessoires, oligoclase résiduel, myrmékite et microcline envahissant plus ou moins moiré ou à perthites larges et irrégulières très différentes d'aspect des perthites extrêmement fines et régulières des leptynites ou des granites hololeucocrates.

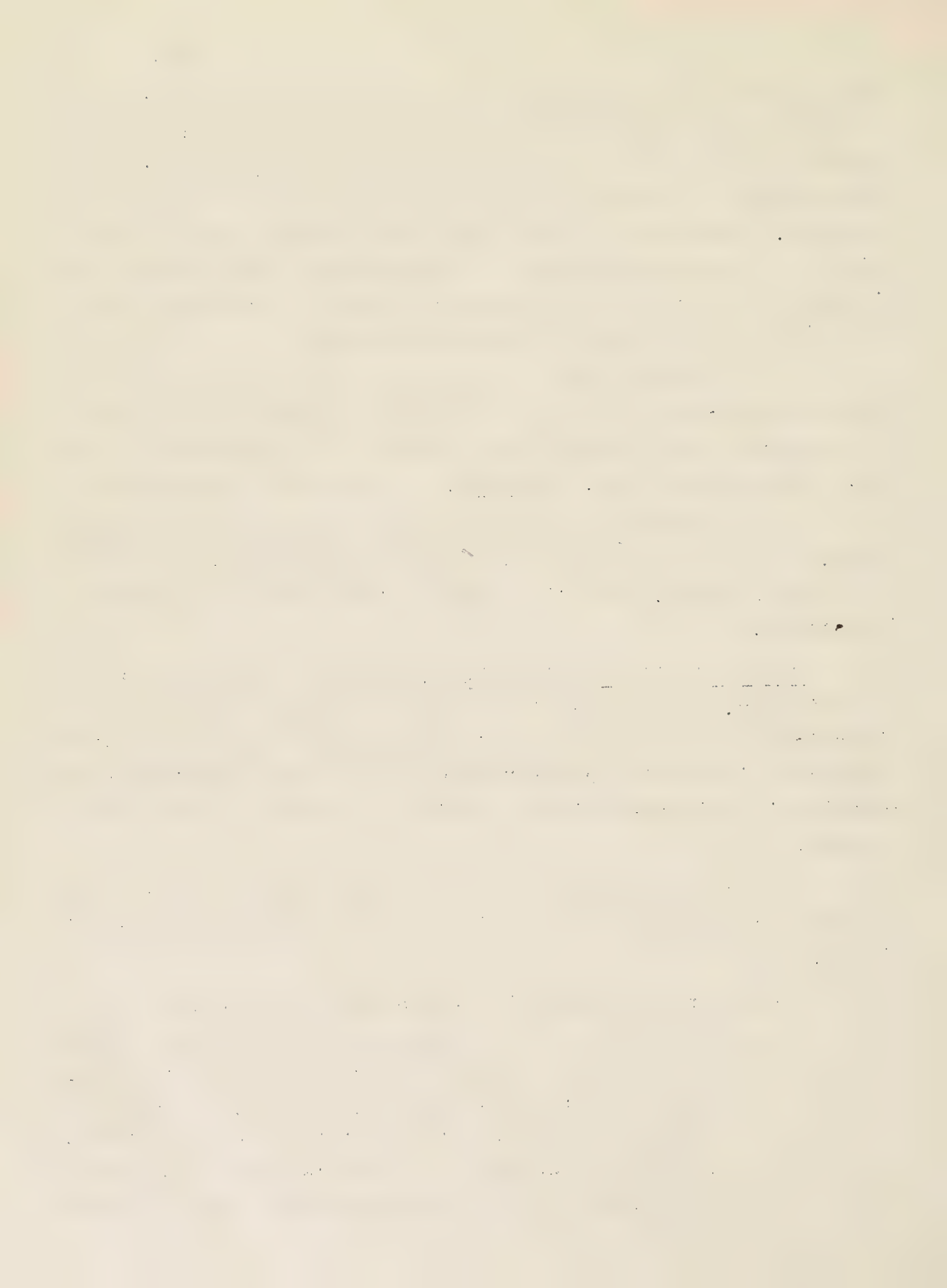
Les intercalations ectinitiques sont des niveaux de faciès Manampotsy : gneiss à biotite, sillimanite et grenat et accessoirement micaschistes, souvent à sillimanite et grenat, quartzites divers, nombreux, et grenatites quartzeuses.

Les concentrations graphiteuses, comme dans le Manampotsy, sont surtout liées aux gneiss et aux micaschistes. On n'y a pas reconnu, jusqu'à présent, d'alignement d'intérêt économique.

Sur la feuille Vohimenakely, au Sud, de part et d'autre du Maningory, l'existence de termes de passage à caractères minéralogiques et structuraux intermédiaires entre les faciès types du Brickaville granitoïde au Sud et les leptynites franches de l'Andribabe-Bakiry, constitue le fait le plus intéressant.

Les échantillons X.5935 et X 6001 (planche 17) correspondent à ces termes "leptynitiques" intermédiaires caractéristiques.

X 5935 (piste Ambodiriana-Manambato en X=961,8 et Y=651,2) est une migmatite leptynitique à grenat almandin et amphibole, perthite très abondante, granules d'oligoclase et myrmékite, et rare microcline quadrillé interstitiel. La ressemblance avec les leptynites, outre l'aspect leucocrate de la roche, est ici surtout donnée par le rassem-



blement du quartz en fuseaux aplatis caractéristiques, soulignant la schistosité.

X 6001 (1,1 km SSE Vohimanitra en X=983,3 Y=654,2) représente un faciès leptynitique plus franc. Il s'agit d'une roche presque hololeucocrate à grenat almandin et amphibole rare, structure granoblastique fine, orientation soulignée par des alignements de quartz lenticulaires typiques. Au microscope : perthite largement dominante, quartz "leptynitique", oligoclase interstitiel rare avec myrmékite, grenat almandin, hornblende ferrière et apatite rares.

La comparaison sur diagrammes planches 18 et 19 de ces deux échantillons leptynitiques intermédiaires avec les faciès types du Brickaville (analyses 1,2,3,5 et 6) souligne leur étroite parenté.

C'est également au niveau des faciès intermédiaires de l'ensemble Brickaville-leptynites de la feuille Vohimenakely que semble s'opérer un passage progressif, dans ces niveaux, des faciès à microcline moiré du Sud (réalisés aussi bien dans les granites de Brickaville que dans les bancs leptynitiques accessoires) aux faciès à perthite franche caractéristiques de l'Androna au Nord, en liaison évidente avec le développement du faciès granulite à hornblende dans cette dernière région.

Au Nord de la chaîne de l'Andribabe-Bakiry, C.ALSAC (1966) a décrit le prolongement des leptynites sur la partie Sud orientale de la feuille Maroadabo S.41, et les considère comme partie intégrante de sa série graphiteuse de base : fond de gneiss à sillimanite et grenat avec intercalations graphiteuses, migmatites souvent leptynitiques, granites stratoïdes, intercalations réduites d'amphibolites, pyroxénites, quartzites, cipolins, gneiss wernéritiques à pyroxène.

Cette série graphiteuse constitue le prolongement exact de notre série de l'Andranokely au Nord et, comme l'a écrit C.ALSAC "à moins d'envisager un renversement complet des structures, cette série apparaît comme inférieure à toutes les autres", c'est-à-dire à toutes les séries situées plus à l'Ouest. Il faut souligner aussi que C.ALSAC s'accorde avec ce que nous préconisons au Sud en intégrant les leptynites de l'Andribabe à la série graphiteuse. Il n'envisage pas en particulier d'en faire une unité anticlinoriale ou un socle par rapport aux gneiss et migmatites graphiteuses qui les flanquent au Nord et à l'Est, c'est-à-dire dans la même situation géographique que les gneiss graphiteux du Manampotsy, au Sud, par rapport aux leptynites de la région de Vohimenakely et au Brickaville.

3- Série de l'Andranokely. - Du point de vue lithologique, ce troisième terme de la série graphiteuse se différencie surtout du Manampotsy type par l'importance de la phase calcique et silico-calcique, qui se traduit localement par la présence de nombreux bancs de cipolins à minéraux et de pyroxénites.

Accessoirement, à l'intérieur même de la série, des différences régionales mineures dans les séquences originelles, jointes à celles provoquées par les variations du métamorphisme et de la granitisation, permettent aussi en première approximation, d'établir une distinction entre les branches occidentales peu granitisées et à phase quartzitique développée notamment, et la branche orientale plus homogène et riche en niveaux charnockitiques, leptynitiques et granitiques divers.

La prédominance des formations silico-alumineuses et la présence de graphite demeurant, toutefois, les caractères distinctifs essentiels de toute la série.

a- Bande graphiteuse orientale. - La caractéristique de la chaîne de l'Andranokely proprement dite, culminant aux en-

virent de 1200 m entre les zones déprimées de Mandritsara à l'Ouest, et du couloir de la Mangarahara à l'Est (altitude 2 à 300 m), est l'existence d'une armature de leptynites (souvent grenatifères et à sillimanite) et de granites stratoïdes roses hololeucocrates et à grain fin, massifs ou orientés, et alors pratiquement indiscernables des faciès leptynitiques.

H. de la ROCHE cartographiait d'ailleurs en 1950 la chaîne de l'Andranokely comme une bande essentiellement leptynitique large de 7 à 8 km, prolongement de la série leptynitique de Marotandrano de J. AUROUZE. La maille plus serrée réalisée lors de la reprise au 1/100.000 montre néanmoins que les leptynites et les granites stratoïdes, généralement dégagés par l'érosion, ne représentent en moyenne que moins du tiers à l'affleurement de la série de l'Andranokely. Le reste étant constitué surtout par des migmatites rubanées (faciès embréchitique ou épibolitique) leucocrates, à biotite, biotite et grenat, plus rarement à amphibole et pyroxène qui représentent ainsi le fond réel, avec des résidus nombreux de gneiss à biotite, biotite et grenat, sillimanite, des khondalites, quelques micaschistes, quelques quartzites blancs, à gros grain, parfois feldspathiques, et les niveaux calciques (wernéritites, gneiss à pyroxène et pyroxénites à diopside, cipolins) caractéristiques de la série graphiteuse de l'Andranokely.

Ces wernéritites et pyroxénites à diopside affleurent en bancs de puissance décamétrique au maximum, passant accessoirement à des gneiss et migmatites à pyroxène. Elles contiennent, outre la wernérite et le diopside, du sphène, du grenat, de la calcite et du quartz. Les faciès gneissiques et migmatitiques associés sont : quartz, andésine (microcline), diopside, grenat et sphène, wernérite et calcite. Comme principaux types pyroxéniques et wernéritiques, on peut citer :

- X 4707 b. Pyroxénite à diopside massive, de couleur vert clair, exclusivement formée de cristaux trapus (2 à 3 mm) de diopside enchevêtrés.
- X 4884 Pyroxénite à scapolite et sphène, à texture litée résultant de l'alternance de bandes centimétriques grenues à diopside et sphène (très abondant) et de bandes leucocrates exclusivement formées de wernérite.
- X 4470 Pyroxénite feldspathique massive à gros grain. Diopside dominant en cristaux centimétriques. Plages interstitielles d'oligoclase et microcline associés.
- X 4444 Wernéritite à diopside massive. Fond grenu à grain fin formé par l'association de cristaux millimétriques de diopside (30 à 40%) et de wernérite. Localement passées largement grenues de wernérite (cristaux de 4 à 5 cm à clivages nacrés caractéristiques) et quelques lentilles quartzeuses centimétriques.
- X 4489 Wernéritite à calcite et pyroxène. Roche à gros grain litée, formée par des alternances de lits de wernérite (prédominante) et de calcite. Granules de diopside millimétriques dispersés sur l'ensemble de la roche.
- X 4914 Wernéritite à pyroxène et grenat. Structure grenue massive. Fond de wernérite dans lequel s'individualisent des amas de pyroxène diopside à couronne externe de grenat.

Les cipolins se présentent le plus souvent en petites lentilles de puissance métrique à décamétrique, de 2 à 300 m d'allongement. La formation la plus importante, constituée par la réunion de telles lentilles, sur une puissance totale

limitée à environ 50 mètres, et dont les affleurements se suivent sur près de 5 km, se situe au pied du plateau de Bebitsika, au SE d'Antsirandrano. Les cipolins sont souvent associés aux pyroxénites et wernéritites précédentes, dont ils contiennent fréquemment des alignements d'enclaves boudinées.

Divers faciès minéralogiques coexistent sur une même lentille. Beaucoup sont dolomitiques et dégagent souvent au choc une odeur fétide caractéristique, comme par exemple :

X 5035 "cipolin" blanc largement cristallisé (CaO% = 30,7 ; MgO% = 20,5; résidu insoluble dans HCl 1,2) qui correspond ainsi à une dolomie presque pure que l'on trouve intercalée, en bancs métriques dans

X 5034 cipolin vrai blanc rosé, à spinelle et rares pyroxènes (CaO% = 50,8 ; MgO% = 1,1 ; résidu insoluble dans HCl 3,6).

De façon générale, les "cipolins colorés" (jaunâtres, rosés, verdâtres) à nombreuses impuretés silicatées : quartz, phlogopite, diopside, hornblende, wollastonite, périclase, serpentine, humite, wernérite, grenat, spinelle, sphène, ne sont pas dolomitiques. Le grain peut être fin à grossier. Le graphite existe parfois en paillettes millimétriques dispersées.

Les amphibolopyroxénites, généralement grenatifères à andésine, hornblende, diopside ferrifère et hypersthène existent accessoirement dans la série graphiteuse de l'Andranokely, identiques à celles des ensembles migmatitiques sous-jacents de l'Est.

Les charnockites, souvent à faciès "malgachitique" (couleur vert sombre à noirâtre) forment des bancs interstratifiés dont l'épaisseur va de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres. Elles se concentrent surtout à l'Ouest et au Nord, c'est-à-dire vers le sommet de la série, à l'appro-

che du contact de la série pyroxéno-amphibolique granitisée de la région de Mandritsara dans laquelle, comme nous le verrons par la suite, ces faciès charnockitiques sont très fréquents.

On peut distinguer deux types extrêmes dans les charnockites : un type basique (le plus souvent dioritique) à andésine, biotite, hypersthène, augite, et un type acide à quartz, microcline, plagioclase acide, myrmékite, hornblende très ferrifère, hypersthène et apatite.

A l'extrémité Nord de la chaîne de l'Andranokely, faciès basiques (à enclaves gabbroïques à structure doléritique conservée) et faciès acides sont associés dans le massif de granite porphyroïde à biotite de l'Ambatolahy, comme dans les complexes granitiques différenciés de la région de Mandritsara. Nous aurons l'occasion de décrire plus en détail ce type d'association lors de l'étude des granites de l'Androna.

b- Bandes graphiteuses occidentales. - Les gneiss silico-alumineux typiques du faciès "Manampotsy" à biotite, grenat, sillimanite et graphite accessoire, constituent, avec des passées de gneiss à amphibole, biotite amphibole passant assez souvent à des faciès d'embréchites rubanées à biotite amphibole, le fond géologique des deux bandes graphiteuses principales de direction générale Nord 20° Ouest distinguées dans l'Androna au Nord du parallèle de Mandritsara. Les granites n'y sont représentés que par quelques strates de granite rose. Les faciès leptynitiques (à sillimanite et grenat) y sont pratiquement inconnus, ainsi que les charnockites. Charnockites et leptynites abondent au contraire au Sud dans la zone où ces deux bandes, au Sud-Ouest de Mandritsara, et les bandes graphiteuses annexes qui se développent à ce niveau, viennent se réunir à la bande orientale de l'Andranokely.

Au Nord, les intercalations quartzitiques, quartzites blancs à biotite, sillimanite, muscovite, traces de graphite (en bancs décamétriques formant des collines souvent boisées allongées sur plusieurs km), et quartzites sombres à magnétite (en intercalations métriques discontinues) passant à des grenatites à pyroxène et parfois graphite, dominant.

Les intercalations de cipolins, pyroxénites et wernéritites sont également très caractéristiques.

Au Nord, les cipolins à humite, ou dolomitiques, forment des niveaux de puissance métrique de quelques dizaines de mètres d'allongement, associés à des bancs pyroxéniques et wernéritiques plus importants.

Au Sud, les cipolins sont plus développés. Dans la branche occidentale externe, à l'Est du village Bedinta par exemple, un banc de plusieurs dizaines de mètres de puissance peut être suivi sur 4 km environ.

Un autre niveau beaucoup plus important, constitué par deux bandes parallèles d'une centaine de mètres de puissance chacune, séparées par des gneiss à grenat, forme une ligne de crête continue sur 6 km environ dans la bande annexe de gneiss silico-alumineux la plus occidentale, au Nord du tampoketsa de l'Analamaitso.

Des alignements d'ultrabasites magnésiennes existent enfin dans la partie médiane des bandes graphiteuses principales, de part et d'autre de la vallée de la Sofia : pyroxénolites magnésiennes, actinotites, trémolitites, serpentines. Elles ne sont pas spécifiques à la série graphitique.

Le graphite, comme dans le Manampotsy type, est présent dans les faciès les plus divers, à l'état de traces : quartzites, cipolins, grenatites, migmatites et gneiss. Mais ici aussi les niveaux les plus importants correspondent à des gneiss souvent à sillimanite et grenat (khondalites). Il

n'existe cependant pas de gisements d'intérêt économique actuel : la puissance des bancs à concentration suffisante excède rarement quelques mètres pour un allongement inférieur à 100 m. Un gisement a néanmoins été exploité en période de forte demande (pendant la première guerre mondiale). Il s'agit du niveau d'Antsatrana à 10 km au Nord-Est de Mandritsara, dans la chaîne de l'Andranokely. Le banc gneissique minéralisé, sub-vertical, a une puissance moyenne de 2 à 3 mètres, avec des passées décimétriques riches (plus de 50% à vue). Il n'est actuellement visible que sur quelques dizaines de mètres le long des anciens travaux. Il s'individualise dans un contexte type de gneiss grenatifères à biotite compris entre deux bancs décimétriques de cipolins, distants de 200 m, et associés à des pyroxénites à diopside.

D- Chimisme comparé du Brickaville, des leptynites et des granites leucocrates des séries graphiteuses. - La géologie de terrain permet d'envisager l'existence d'un passage latéral des granites et des migmatites de Brickaville aux leptynites de l'Andribabe-Bakiry et de la série de l'Andranokely, grenatifères ou hyperalumineuses. En plus, au niveau de l'Androna, certains faciès rapportés à la série leptynitique (leptynites hololeucocrates à quartz aplati notamment) ne se différencient guère des faciès de granites stratiformes leucocrates, massifs ou orientés, dont l'aire de répartition préférentielle paraît nettement liée au développement de la zone granitisée complexe de l'Androna.

Nous avons cherché à comparer (par le report sur divers diagrammes) les caractères géochimiques des principaux ensembles lithologiques supposés. Nous ne disposons que d'un nombre limité d'échantillons représentatifs pour analyse, aussi nos conclusions restent-elles hypothétiques. Nous avons pensé néanmoins qu'il était utile d'en faire état, ne serait-ce que

pour suggérer la possibilité de travaux plus précis dans cette région.

1- Caractères minéralogiques du Brickaville. - La minéralogie des "granites calco-alcalins" microcliniques à hornblende et almandin du Brickaville est assez inhabituelle. On peut l'expliquer, semble-t-il, en fonction des conditions du métamorphisme et de la géochimie de ces formations. La transformation en proportions moléculaires des données de l'analyse type 2 donne par exemple :

Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	FeO	TiO ₂
137	61	44	56	2	26	14

La pauvreté en MgO se traduit par la rareté de la biotite.

Les proportions moléculaires en K₂O et Na₂O coïncident pratiquement avec la composition du microcline sodique (2V=72) ou perthitique stable dans ce faciès, qui est le constituant feldspathique essentiel des granites types de Brickaville. Il n'y a pratiquement pas de plagioclase et l'alumine non utilisée pour la saturation des alcalins se retrouve essentiellement dans la phase mélanocrate : en majorité avec le fer ferreux pour former l'almandin (grenat type du faciès B₂₋₃) et accessoirement dans la hornblende.

Le calcium, qui n'est pas pris en charge par le grenat dans le faciès considéré, se retrouve obligatoirement concentré avec le titane dans la hornblende et secondairement dans le sphène. La coloration brunâtre de la hornblende, apparemment calcique et accessoirement ferrifère, doit sans doute être attribuée à une forte teneur en titane.

On aboutit ainsi à la coexistence d'une phase leucocrate, dominante, formée de microcline sodique et de quartz, et d'une phase mélanocrate avec hornblende, almandin, sphène et accessoirement biotite.

Si on admet que la hornblende représente ici le minéral refuge normal du calcium, de préférence au plagioclase basique (en l'absence de soude disponible), on retrouve la paragenèse type du faciès B₂₋₃ quartz (anorthite)-hornblende-almandin (biotite)-microcline sodique, qui correspond, d'après M.G.F. WINCKLER, à un domaine bien déterminé du champ des diagrammes ACF et A'KF.

Le caractère incomplet des données analytiques et l'impossibilité d'établir les corrections nécessaires à partir de l'examen pétrographique des quelques lames minces de mauvaise qualité dont nous disposons, ne nous ont pas permis de porter avec suffisamment de précision la position des faciès types du Brickaville dans ces diagrammes. D'après les résultats analytiques bruts, le point représentatif de l'échantillon type n°2 de A.IACROIX se situerait néanmoins bien sur le diagramme ACF sur la bordure inférieure du champ almandin-hornblende-anorthite, et sur le diagramme A'KF, légèrement à l'extérieur du champ almandin-microcline-biotite, à proximité de la ligne microcline-almandin.

2- Brickaville et leptynites : caractères chimiques et essai de pétrogenèse. - a- Diagramme KCN. - Sur le diagramme KCN (1) planche 18, les granites types de Brickaville (1,2,3) occupent une aire bien délimitée dans le champ des granites calco-alcalins moyens.

Les faciès migmatitiques (5 et 6) et les leptynites à amphibole et grenat (7 et 8) de la zone de transition sur la feuille Vohimenakely aux leptynites leucocrates, grenatifères ou hyperalumineuses de la région de l'Andribabe-Bakiry et de Mandritsara encadrent les faciès types toujours dans la zone des granites calco-alcalins moyens.

Par contre, les faciès leptynitiques et les granites leucocrates stratoïdes de la région de Mandritsara reportés



sur le même diagramme (10 = leptynite à grenat et sillimanite, 11 = leptynite à grenat, 12 et 13 = leptynites à quartz aplatis, 14 et 15 = granites leucocrates) se différencient pour la plupart du Brickaville (sauf l'échantillon 10) par leur position dans la classe des granites alcalins.

En fait, ce regroupement est assez arbitraire. En effet, si les 7 échantillons de Brickaville sont représentatifs, les échantillons 12,13,14,15 de la région de Mandritsara constituent au contraire un choix de faciès "douteux" qu'on peut assimiler aussi bien à la série leptynitique qu'à des faciès de granites stratoïdes leucocrates liés à la zone granitique de l'Androna.

Les échantillons analysés les plus proches des leptynites alumineuses de la région de l'Andribabe-Bakiry et de Mandritsara paraissent en fait correspondre à des faciès extrêmes : type potassique 11 et type calcique 10 à sillimanite et grenat. On peut remarquer néanmoins que leurs projections en diagrammes ACF et A'KF se situent bien en première approximation dans les champs anorthite-almandin-microcline-sillimanite du faciès B₂₋₃ et anorthite-scapolite-grenat-orthose-sillimanite du faciès granulite réalisé dans l'Androna. En diagramme KCN, leurs points représentatifs encadrent largement la zone du Brickaville et il est certain que la réalisation d'un échantillonnage représentatif dans la série leptynitique conduirait à la détermination d'un vaste champ sur ce diagramme KCN, où le caractère hyperalumineux n'apparaît pas, englobant la zone du Brickaville.

Sur le diagramme KCN du schéma II (planche 18), les granites calco-alcalins types du Brickaville se superposent aux granites calco-alcalins les plus évolués de l'Antongil, mais la comparaison de ces derniers avec le Brickaville sur les diagrammes H.de la ROCHE (planche 19) montre bien que géochimiquement ces deux matériels ne sont pas comparables.

Les faciès de granites alcalins leucocrates stratifiés de la région de Mandritsara sont également proches sur le diagramme KCN des termes les plus évolués des granites du complexe intrusif alcalin précambrien d'Ambatofinandrahana.

b- Diagramme $\text{CaO.Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$. - Sur ce diagramme (schéma 3 de la planche 18) les faciès Brickaville occupent une aire de répartition intermédiaire entre celle des arkoses et grauwaques (d'après F.J.PETITJOHN) alors que les faciès leptynitiques "douteux" (granites et leptynites hololeucocrates) de la région de Mandritsara (12,13,14,15) se situent en bordure, ou dans la zone des rhyolites. Les échantillons leptynitiques 10 et 11 se séparent aussi de ces derniers. L'échantillon 11 (leptynite potassique à grenat) se situant en bordure de la zone des arkoses et l'échantillon 10 (leptynite hyperalumineuse à grenat et sillimanite) mais néanmoins calcique, nettement au-dessus.

c- Diagrammes H. de la ROCHE. - Sur le diagramme $\text{Al}_2\text{O}_3-(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{TiO}_2)$ (schéma I planche 19), l'ensemble des faciès Brickaville du fait de la forte teneur en CaO , ainsi que la leptynite hyperalumineuse n°10 sont représentés dans la zone des grauwaques et dans la zone commune aux arkoses et aux grauwaques, tandis que les échantillons 11 à 15 de la région de Mandritsara se situent dans la zone des rhyolites, de part et d'autre de la ligne idéale rhyolites-granites, en dessous de la limite de l'aire de répartition des arkoses, l'échantillon de leptynite grenatifère n°11 étant cependant très proche de cette limite.

Sur le schéma II ($\text{MgO-K}_2\text{O-Na}_2\text{O}$) on voit que l'ensemble des faciès Brickaville, du fait de la faible teneur en MgO , se trouve relégué dans la zone des arkoses, avec les échantillons de leptynites de Mandritsara n°11 (leptynite grenatifère) et 13 (leptynite à quartz aplati), tandis que les échantillons 12, 14 et 15 se situent encore à l'extérieur de cette zone des arkoses, en dessous du point idéal de la rhyolite.

d- Conclusions. - D'après ces diverses représentations (sans faire intervenir pour le moment d'hypothèse sur les modalités de leur mise en place : injection de lames granitiques concordantes liées à la granitisation de l'Androna par exemple ou manifestations volcaniques sans rapport avec cette granitisation), il semble qu'une partie au moins des leptynites de la région de Mandritsara puisse dériver d'un matériel de composition rhyolitique. D'après leur position, le plus simplement possible, les faciès du Brickaville peuvent aussi bien s'interpréter comme un matériel sédimentaire intermédiaire entre arkoses et grauwackes, ou comme le résultat du mélange à des grès ou arkoses d'un apport calco-sodique (volcanisme basique) ou encore comme un matériel rhyolitique (tuf par exemple) légèrement enrichi en calcium (à ciment calcaireux?).

Du point de vue chimique comme du point de vue gisement, il n'existerait donc pas d'objection majeure à l'idée d'une origine commune sédimentaire ou volcano-sédimentaire des faciès leptynitiques et des faciès particuliers du Brickaville étroitement localisés les uns et les autres à la série graphiteuse du Manampotsy.

Accessoirement, ont été reportés sur les différents diagrammes les points représentatifs de 3 échantillons de gneiss leptynitiques variés de la série de Sahantaha (16, 17, 18). Il n'est évidemment pas possible de tirer une conclusion de leur répartition dispersée.

Sur les diagrammes de la planche 19, les 3 points représentatifs des analyses des gneiss de la Sahamana (en intercalation dans les migmatites rubanées de la râlaise) se situent dans les aires de répartition des grauwackes, tandis que le point représentatif du micaschiste côtier type de Vavatenina situé dans le domaine des arkoses sur le diagramme I, apparaît à cause de sa teneur en MgO dans le domaine des schistes sur le diagramme II.

Provenance et nature des échantillons analysés de granites
et de leptynites des séries graphiteuses (planche 17)

1. X 6445	Carrière de Brickaville	Granite de Brickaville
2. A	Echantillon type de A.LACROIX	Migmatite granitoïde de Brickaville
3. C	Est de Brickaville	Migmatite granitoïde
4. B	Tsarasambo	Migmatite granodioritique
5. X 5766	Rivière Ivalo, 1,7km WNW Ambodimanga. Feuille Vohi- menakely	Migmatite à amphibole et grenat
6. X 5747	Rive gauche Maningory, 800m W Adipaiso. F. Vohi- menakely	" " et grenat
7. X 5935	Piste Adiriana-Manambato F. Vohimenakely	Migmatite leptynitique à amphibole et grenat
8. X 6001	1,1 km SSE Vohimanitra F. Vohimenakely T.43	Leptynite à amphibole et grenat
10. X 5003	300m d'Anaboanhitra F. Mandritsara T.39	Leptynite à grenat et sillimanite
11. X 4989	3,7 km SW Bemolahy F. Mandritsara T.39	Leptynite à grenat
12. X 4644	Route d'Antsatramidola 4,1 km E Mandritsara	Leptynite rose à quartz aplatis
13. X 4628	Crête 1 km N Mandritsara F. Mandritsara T.39	Leptynite rose à quartz aplatis
14. X 4446	Piste Ahitsara-Maintsoma- laza. F. Mandritsara T.39	Granite rose
15. X 4382	1,4 km W Antanimbariomby F. Mandritsara	Granite rose

Autres échantillons

9. X 3042B	Contact lentille ultraba- site chromifère de Rano- mena	Migmatite à hornblende, grenat et diallage ré- siduel
16. X 6425	500m confluent Maintimba- to. F. Adihazomamy V.38	Leptynite à grenat
17. X 6415	Vallée de la Vohimaro, 1,5 km en amont camp C7. F. Adihazomamy V.38	Gneiss leptynitique sodique
18. X 6408	Vallée de la Vohimaro, 2km NW camp C5. F. Adi- hazomamy V.38	Gneiss leptynitique

	REGION DE BRICKAVILLE				REGION DE VOHIMENAKELY				Migmatite de Ranomana
	faciès granitiques		enclaves		migmatites et leptynites				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N° échantillon	X 6445	A	C	B	X 5766	X 5747	X 5935	X 6001	X 30428
recueilli par	HOTTIN	LACROIX	LACROIX	LACROIX	HOTTIN	HOTTIN	HOTTIN	HOTTIN	GIRAUDON
Analyste	C.R.P.G.	RAOULT	RAOULT	RAOULT	C.R.P.G.	C.R.P.G.	C.R.P.G.	C.R.P.G.	J. ORLIAC
SiO ₂	71,00	70,42	63,82	59,44	69,70	62,90	64,00	71,40	50,40
Al ₂ O ₃	13,00	14,00	15,36	14,19	13,80	15,20	15,40	13,25	22,86
Fe ₂ O ₃ (Fe ₂ O ₃)		0,65	1,37	2,71					0,47
FeO ou (total)	4,50	1,83	4,38	6,10	5,14	7,83	8,30	3,74	5,97
MnO	0,08	-	-	-	0,06	0,14	0,12	0,06	-
MgO	0,15	0,11	0,04	3,27	0,25	0,99	0,45	0,05	2,80
CaO	2,50	3,12	3,02	5,78	1,94	3,49	3,45	1,79	7,73
Na ₂ O	2,55	2,74	3,05	3,58	2,84	3,54	2,90	2,74	3,03
K ₂ O	5,75	5,74	6,25	2,40	6,04	4,84	4,95	5,94	2,09
TiO ₂	0,45	1,06	0,86	1,38	0,52	1,22	0,94	0,43	2,40
P ₂ O ₅	-	0,08	0,34	0,71	-	-	-	-	0,20
H ₂ O+	0,02	0,14	0,62	0,46	} 0,15	0,21	0,03	0,07	0,99
H ₂ O-		0,24	0,56	0,08					0,14
Total	100,00	100,23	99,68	100,10	100,44	100,36	100,54	99,47	100,55

Leptynites et granites des formations graphiteuses

17

	REGION DE MANDRITSARA					REGION SAHANTAHA-MAHAKIRY				
	Leptynites diverses				Granites leucocrates	Leptynites et gneiss leucocrates				
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
N° échantillon	X 5003	X 4989	X 4644	X 4628	X 4446	X 4382	X 6425	X 6415	X 6408	
recueilli par	HOTTIN	HOTTIN	HOTTIN	HOTTIN	HOTTIN	HOTTIN	HOTTIN	HOTTIN	HOTTIN	
Analyste	C.R.P.G.	C.R.P.G.	C.R.P.G.	C.R.P.G.	C.R.P.G.	C.R.P.G.	C.R.P.G.	C.R.P.G.	C.R.P.G.	
SiO ₂	68,20	76,20	73,6	75,8	72,00	75,20	72,70	74,30	73,80	
Al ₂ O ₃	15,40	12,55	13,50	12,55	13,9	13,75	12,50	13,00	12,70	
Fe ₂ O ₃ (Fe ₂ O ₃)										
FeO ou (total)	3,83	2,29	1,79	1,59	1,98	0,99	5,79	3,49	3,34	
MnO	0,05	0,03	0,01	0,01	0,03	-	0,09	0,07	0,05	
MgO	1,34	0,10	-	-	-	-	0,05	0,49	0,05	
CaO	2,88	0,29	0,49	0,64	1,29	0,79	1,74	1,29	0,59	
Na ₂ O	1,24	2,39	3,83	3,04	3,77	3,78	1,64	4,88	3,64	
K ₂ O	4,73	6,12	5,27	5,53	5,51	5,08	5,29	1,94	4,39	
TiO ₂	0,69	0,02	0,14	0,20	0,44	0,05	0,38	0,41	0,30	
H ₂ O+	} 0,41	0,44	0,54	0,32	0,74	0,39	0,18	0,27	0,21	
H ₂ O-										
Total	98,77	100,44	99,17	99,68	99,66	100,03	100,36	100,14	99,07	

II Position comparée sur le diagramme KCN des granites et leptynites des formations graphiteuses aux granites

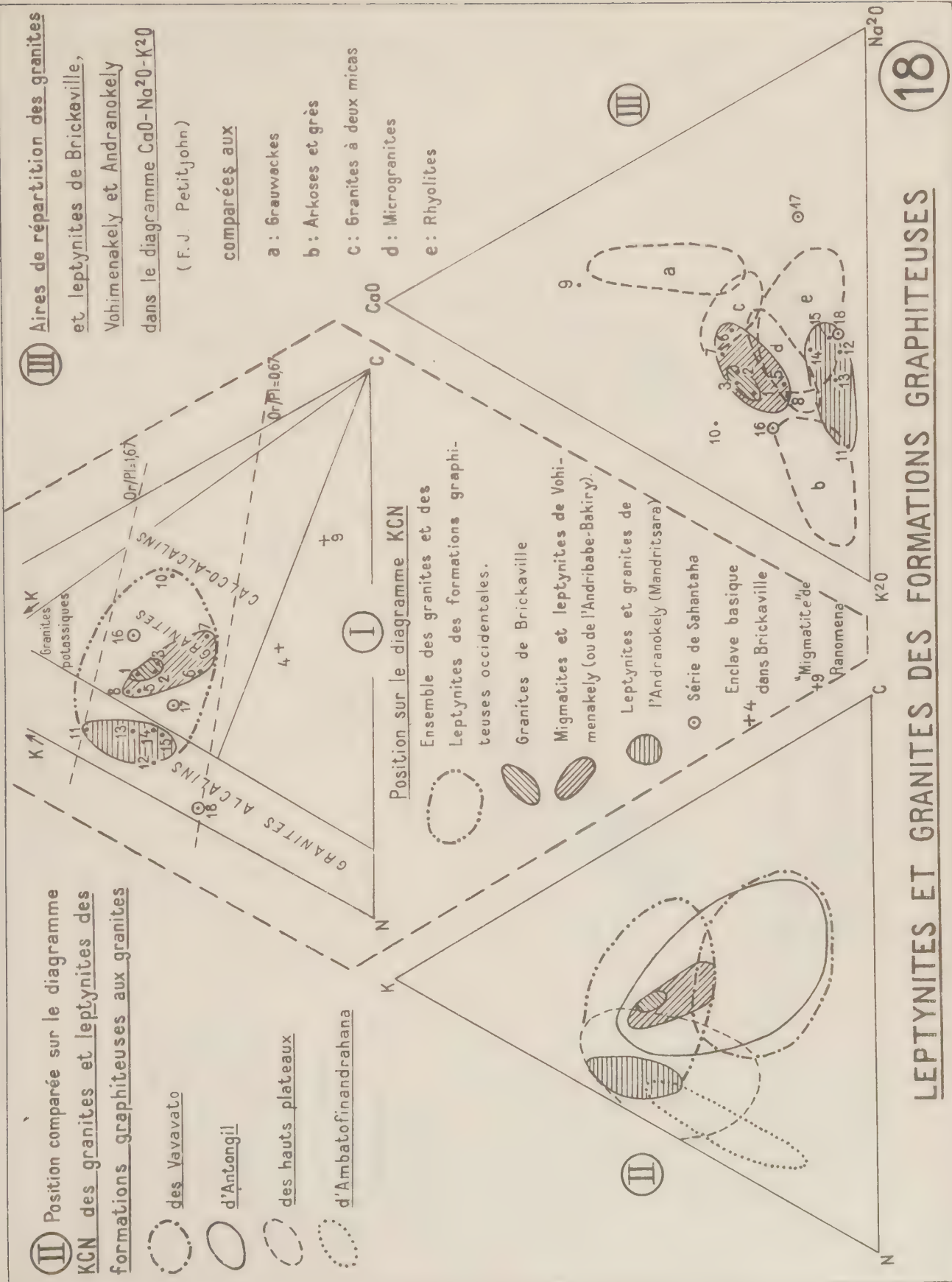
- des Vavavato
- d'Antongil
- des hauts plateaux
- d'Ambatofinandrahana

III Aires de répartition des granites et leptynites de Brickaville, Vohimenakely et Andranokely dans le diagramme CaO-Na₂O-K₂O

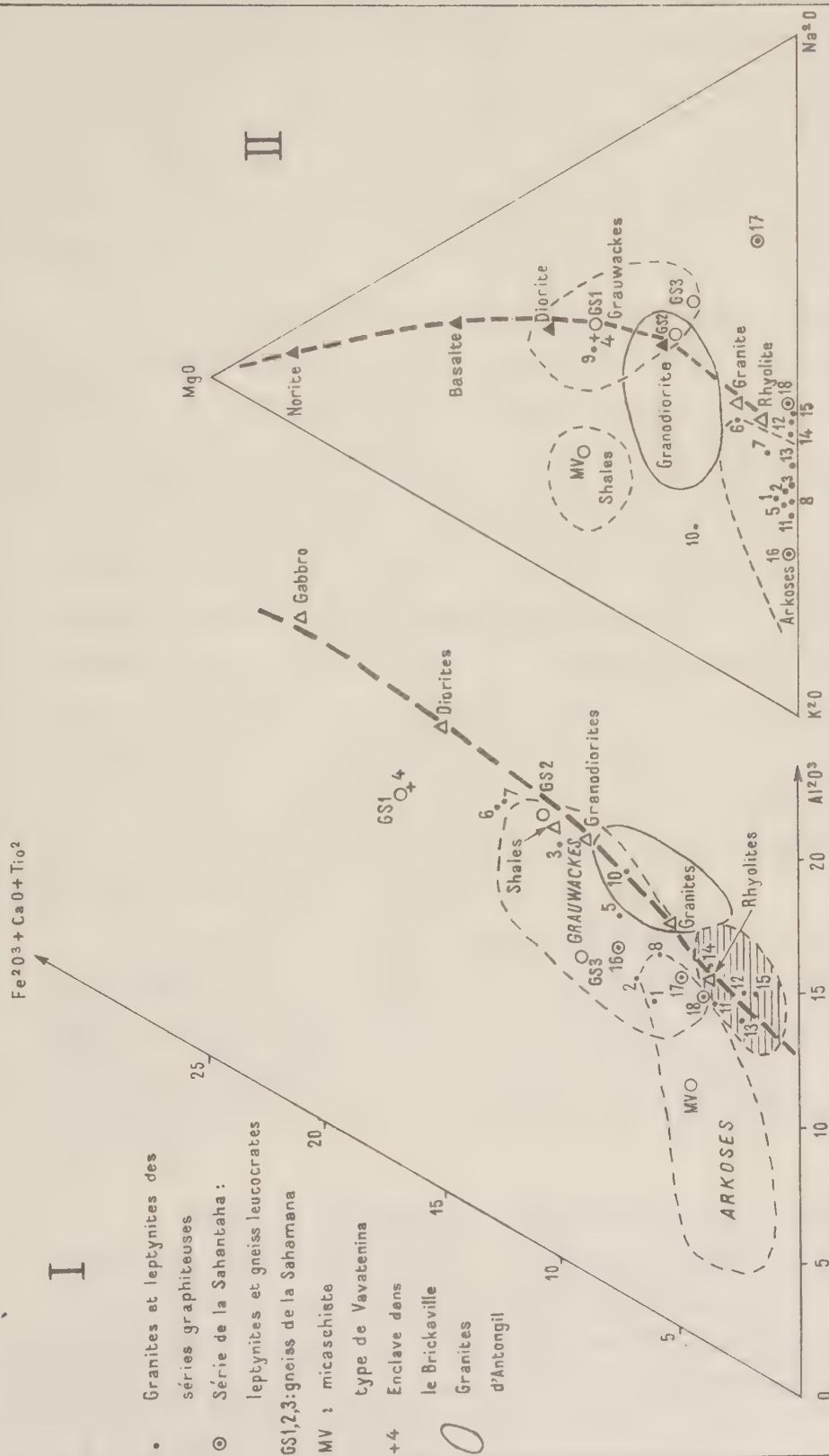
(F.J. Petitjohn)

comparées aux

- a : Grauwackes
- b : Arkoses et grès
- c : Granites à deux micas
- d : Microgranites
- e : Rhyolites



LEPTYNITES ET GRANITES DES FORMATIONS GRAPHITEUSES



POSITION DES GRANITES ET DES LEPTYNITES DES FORMATIONS

GRAPHITEUSES SUR LES DIAGRAMMES H. de la ROCHE

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,73 SiO_2 + Al_2O_3 + (Fe_2O_3 + CaO + TiO_2) = 73 \quad (I) \\ \text{et } MgO + Na_2O + K_2O = 100 \quad (II) \end{array} \right.$$

E- Aperçu structural (carte hors-texte.- 1- Région de l'Androna : La position anticlinale des branches occidentales de la série graphiteuse, par rapport à la série pyroxéno-amphibolique du Bas-Androna, est assurée par les résultats des levés concordants de C.ALSAC sur les feuilles de Befandriana au Nord et de J.JOO' sur les feuilles Marovato-Andohajanga au Sud.

C.ALSAC décrit ainsi l'existence "d'un vaste sillon synclinal" de direction Nord-Nord-Ouest dont les côtés sont formés par des gneiss silico-alumineux avec des niveaux graphiteux et dont le centre est occupé par des migmatites amphiboliques plus ou moins granitisées (Androkany, Ambatomarangitra) localement, des surélévations de l'axe anticlinal peuvent faire affleurer la série graphiteuse dans la zone axiale (zone Tsarahonenana-Antsatrana). Au Nord de l'Ambatomarangitra, le synclinal se redresse et se déverse progressivement à l'Est; il apparaît dans celui-ci des rides secondaires : on a affaire à un synclinorium... De part et d'autre des bandes à graphite on retrouve des migmatites amphiboliques : la série graphiteuse repliée sur elle-même occupe donc le coeur de deux anticlinaux majeurs.

Au Sud, J.JOO' décrit également de part et d'autre de la terminaison du même sillon synclinorial amphibolique, la série graphiteuse comme un ensemble de rides anticlinales étroites déversées vers l'Est en général et s'ennoyant progressivement au Nord sous la série pyroxéno-amphibolique supérieure.

Dans la région de Mandritsara à l'Est, nos levés indiquent une disposition identique avec la mise en évidence du synclinal pyroxéno-amphibolique dissymétrique extrêmement net de Mandritsara qui sépare les bandes graphiteuses occidentales de la bande orientale Andranokely-Mangeny.

Dans cette dernière, le style isoclinal serré à déversement Est fréquent rend l'analyse structurale difficile. Les chaînes leptynitiques et graphiteuses de l'Andranokely et du Mangeny proprement dites (cf. situation sur la carte hors-texte) correspondent à des replis anticlinaux importants dans la série graphiteuse, tandis que la superposition normale de la série graphiteuse aux migmatites de la falaise est assurée par l'existence aux deux extrémités de la feuille Mandritsara d'un repli synclinal déversé à l'Est dans la série graphiteuse, bien marqué par des séries de pendages faibles à l'Est au contact de la Mangarahara ($25-30^{\circ}$) et forts à l'Ouest (50 à 75°) à la base des abrupts de l'Andranokely et du Mangeny proprement dits.

A l'extrême Nord, le prolongement de la bande graphiteuse de l'Andranokely se fond dans la série gneissique à biotite et grenat, et accessoirement graphite, qui s'étale largement entre la Sahantaha et l'Androna, au delà de la zone d'ennoyage principale de l'arc anticlinorial migmatitique A^{di}-riana-migmatites rubanées de la falaise.

Au Sud de l'Androna, dans la zone de convergence des bandes graphiteuses, l'épaississement de la zone d'affleurement des bandes occidentales correspond visiblement à une remontée d'axe des séries graphiteuses occidentales avant leur jonction, au delà du petit synclinal pyroxéno-amphibolique de Marotandrano, avec la couverture graphiteuse normale (prolongement de l'Andranokely-Mangeny) de l'anticlinorial migmatitique de la falaise.

La zone de jonction, qui oppose brutalement les directions Nord-Nord-Ouest des bandes occidentales à la direction Nord-Est des migmatites de la falaise et de leur couverture graphiteuse, est mal connue. Elle est certainement extrêmement tectonisée comme l'a montré C. ALSAC (1966) sur son extrémité Sud-Est, avec la mise en évidence d'importantes failles de dé-

crochement jalonnées d'intrusions dioritiques (carte hors-texte).

2- Niveau de l'Alaotra. - C.ALSAC situe les formations graphiteuses rencontrées sur la bordure orientale de la feuille Maroadabo sous les formations migmatitiques et amphibolo-pyroxéniques (migmatites de l'Androna et série de l'Alaotra) qui leur succèdent à l'Ouest.

Dans la série graphiteuse il est important de remarquer que C.ALSAC n'établit aucune distinction structurale ou stratigraphique entre les faciès gneissico-migmatitiques à graphite, plutôt concentrés à l'Est et les niveaux leptynitiques plutôt concentrés au Sud-Ouest, dans le prolongement de la chaîne leptynitique de l'Andribabe, et qu'il interprète comme le résultat d'une migmatitisation préférentielle dans la série graphiteuse (TBG. n°123, p.14).

Plus au Sud, à partir de la même disposition à l'affleurement retrouvée sur la feuille Vohimenakely, nous avons essayé de montrer (coupes schématiques de la planche 20) que l'ensemble Brickaville-leptynites peut ici réellement s'interpréter comme un niveau intercalaire accessoire, de puissance croissante d'Est en Ouest dans la série graphiteuse. Cette série graphiteuse étant elle-même en position intermédiaire entre les migmatites rubanées de la falaise à l'Est et la série pyroxénique de l'Alaotra à l'Ouest (coupes AB et CD). La coupe EF prolongée vers l'Est jusque sur la feuille Vavatenina donne le schéma de l'assimilation possible au delà des migmatites de la falaise, des niveaux du Manampotsy-Brickaville de la feuille Vohimenakely, aux sillons synclinaux de faciès Manampotsy des vallées de la Sahamana et de la Manambitanona (zone interne de la série de Vavatenina).

Au Nord de la feuille Vohimenakely, en tenant compte principalement de la valeur des pendages relevés dans ce sec-

teur, nous interprétons l'élargissement de la zone des leptynites de l'Andranomena (dans le prolongement exact de la chaîne de l'Andribabe-Bakiry) comme une structure synclinoriale. Cette disposition synclinoriale des leptynites au Nord de la feuille Vohimenakely pouvant être parallélisée avec la disposition synclinale apparente du Brickaville dans le Manampotsy, mise en relief, dans la description de la coupe de l'Onibe (Sud de la feuille Vohimenakely), par R.GIRAUDON (thèse Clermont 1960, p.104) : "Les migmatites granitoïdes de Brickaville se trouvent en position synclinale et passent en verticalité à une mince bande de gneiss graphiteux du Manampotsy qui forment un petit anticlinal très pincé. Viennent enfin les gneiss du Beforona qui occupent un synclinorium". Cette coupe schématique est reproduite sur la planche 20.

Compte tenu de cet ensemble d'observations structurales et de l'imbrication étroite, dans le détail, des faciès Brickaville et des leptynites dans la série graphiteuse (soulignée au cours de la description pétrographique et mise en relief, par exemple, au niveau de la feuille Vohimenakely par les schémas de la planche 21), il apparaît difficile, dans cette région, de séparer l'ensemble Brickaville-leptynites de la série graphiteuse, et surtout il n'existe pas d'argument réel en faveur de la localisation d'un axe anticlinorial majeur au niveau de ces faciès (leptynites et Brickaville) accessoires dans la série graphiteuse intermédiaire.

3- Région Ouest de Tamatave..- Au Sud de Tamatave, la coupe de la route de Tamatave à Tananarive, d'après R.GIRAUDON (reproduite sur la planche 20) débute (R.GIRAUDON, thèse Clermont 1960, p.104) par "les migmatites subhorizontales de la série d'Ambodiriana qui s'ennoient rapidement vers le Sud sous les gneiss migmatitiques et graphiteux du groupe du Manampotsy". Les gneiss graphiteux s'ennoient sous les migmatites granitoïdes de Brickaville au Sud d'Ambinanimary. A l'Ouest de Bricka-

ville, les alluvions de la Rianila masquent les migmatites granitoïdes (de Brickaville) qui plongent doucement vers l'Ouest. Les plissements s'intensifient à l'approche de Ranomafana tandis que les migmatites granitoïdes (de Brickaville) s'effilochent dans les gneiss (graphiteux). A Ranomafana même, la coupe passe à l'aplomb de la fermeture d'une grande voûte anticlinale qui, au Sud, étale les migmatites granitoïdes de Brickaville. Au delà de Ranomafana, apparaissent les gneiss à amphibole du groupe de Beforona, en position synclinale.

R.GIRAUDON souligne ainsi, en accord avec l'opinion communément admise, "le gisement en lames" des migmatites granitoïdes de Brickaville "interstratifiées soit dans le groupe du Manampotsy, soit entre ce groupe et celui de Beforona ou la série d'Ambodiriana". Nous ne pouvons que nous accorder avec cette opinion.

La coupe suivant la route que donne R.GIRAUDON attribue néanmoins une grande importance à l'affleurement au Brickaville ; ceci est dû au fait que cette route suit pratiquement ici sur une grande distance l'allongement du Brickaville.

La projection sur une droite Nord-60° Est, passant par Brickaville, donne une idée plus exacte, d'après la carte au 1/1.000.000 de H.BESAIRIE, des diverses unités du socle et en particulier du caractère secondaire des niveaux de Brickaville dans la série graphiteuse.

La coupe de R.GIRAUDON fournit également la preuve apparente de la position intercalaire de la série graphiteuse du Manampotsy entre les migmatites d'Ambodiriana à l'Est et le Beforona-Alaoatra à l'Ouest. Mais nous avons vu, au cours de la description des migmatites d'Ambodiriana que R.GIRAUDON, pour satisfaire à l'hypothèse de l'assimilation stratigraphique au Vohibory terminal du Beforona-Alaoatra et de l'Ambodiriana, admettait l'idée d'un déversement généralisé du Manampotsy, à l'Est, sur l'Ambodiriana.

F- Conclusion à l'étude de la série graphiteuse. - Au delà des différences introduites par les variations souvent minimales de la géochimie et du métamorphisme à l'échelle régionale, la série graphiteuse montre une unité lithologique certaine avec les alternances répétées, plus ou moins développées suivant les régions de phases similaires : phase quartzitique et argilo-gréseuse, phase pélitique, phase silico-calci-que et calci-que, et accessoirement phase calco-magnésienne.

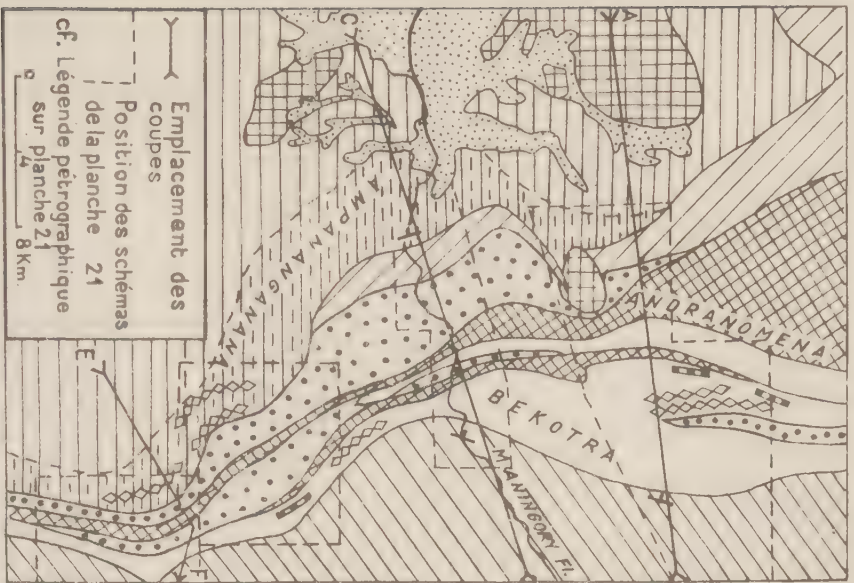
La phase pélitique ou grés-argileuse, dominante, confère à l'ensemble de la série un caractère silico-alumineux marqué. Le graphite est surtout lié à la phase pélitique.

La série graphiteuse est localisée à l'affleurement entre l'arc migmatitique majeur de la falaise à l'Est et le sillon synclinal Androna-Alaotra à l'Ouest. Elle paraît bien ainsi correspondre à un épisode intermédiaire à dominance pélitique et accessoirement carboné, antérieur au remplissage, à caractère calci-que et ferro-magnésien dominant (abondance des faciès amphiboliques et amphibolopyroxéniques) du sillon Beforona-Alaotra et de l'Androna.

L'ébauche d'une étude comparée du chimisme des formations granitoïdes du Brickaville, intercalées dans la série graphiteuse au Sud, et des leptynites alumineuses qui leur succèdent au Nord, laisse entrevoir pour ces formations la possibilité d'une origine sédimentaire ou volcano-sédimentaire commune.

Des variations géochimiques progressives (variation du calcium et de l'alumine notamment) et zonéographiques (passage de la zone B₂₋₃ au Sud au faciès granulite au Nord) paraissent en effet susceptibles de conduire, à partir de matériaux originaux génétiquement comparables à des faciès et à des paragenèses aussi différents que ceux du Brickaville porphyroblastique à microcline perthitique, hornblende almandin au Sud, et des leptynites granoblastiques à perthite, quartz lenticulaire, sillimanite et grenat, de l'Andribabe et de la région de l'Androna.

VOHIMENAKELY T. 43



RELATIONS BRICKAVILLE

MANAMPOTSY

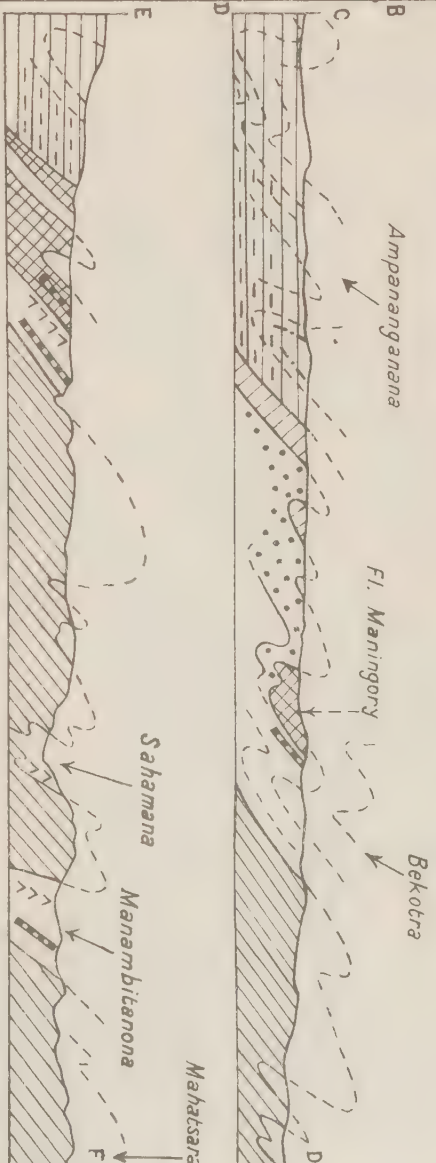
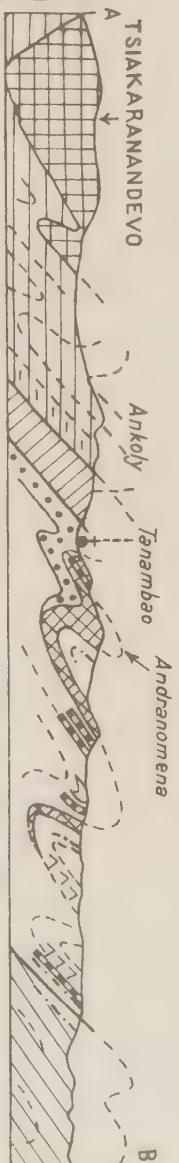
COUPES SCHEMATIQUES AU NIVEAU DE

LA FEUILLE VOHIMENAKELY T. 43

et schéma général au Sud:

(région de Tamatave)

R. GIRAUDON (Thèse CLERMONT 1960)

et carte au 1/1.000.000^e H. BESAIRIE 1964

COUPES SCHEMATIQUES Feuille VOHIMENAKELY T. 43
Echelle: 1/200.000^e

COUPES DE L'ONIBE (I) et de la ROUTE DE TAMATAVE (II) d'après R. GIRAUDON

R. GIRAUDON Thèse Clermont 1960



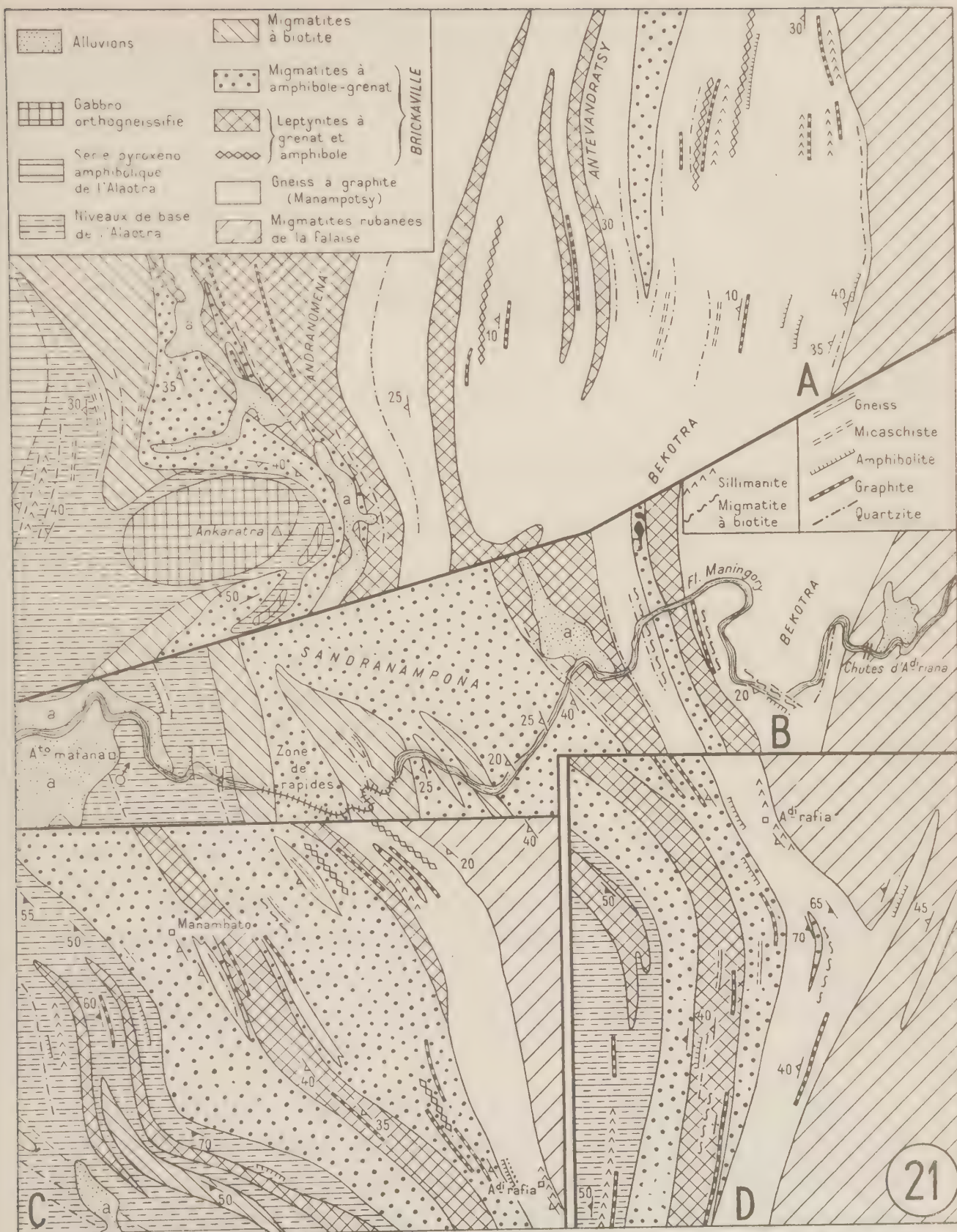
Ranomafana Rianila Brickaville



Migmatite Dome du Mangoro vonidrazana Synclinalorium de Beforona Brickaville la Fanandrana (Sud d'Adrianana) Tamatave

Projection sur une droite N 60° Est passant par Brickaville de la coupe de la route Moramanga - Brickaville - Tamatave

Echelle: 1/1.000.000^e



INTERSTRATIFICATION DU BRICKAVILLE (migmatites et leptynites), dans les gneiss à graphite du Manampotsy et dans les niveaux de base silico-alumineux de l'Alaotra — d'après levés G. HOTTIN 1966. Feuille Vohimenakely T43 Echelle : 1/100.000

lement ici dans la série terminale du Bas Androna et accessoirement dans la série graphiteuse sous-jacente, alors que plus au Nord (hors de notre secteur d'étude) divers arguments lithologiques et structuraux font penser que l'essentiel de la masse granito-migmatitique du massif de l'Androna, englobant sur ses bordures des résidus de la série graphiteuse, pourrait correspondre au contraire à la reprise d'un "noyau" plus ancien que la série graphiteuse et, a fortiori, que la série terminale du bas Androna.

II- SERIE DE L'ALAO TRA.- A- Définition et localisation.- La série de l'Alao tra est une partie du groupe du Beforona défini par H.BESAIRIE (Lexique International 1954) comme un vaste ensemble terminal superposé au groupe graphiteux du Manampotsy et occupant un long synclinorium subméridien au Sud de Beforona (à la latitude de Vatomandry) au Nord du lac Alaotra.

Ce groupe est caractérisé par la prédominance des faciès amphibolopyroxéniques d'origine para (gneiss, pyroxénites et amphibolites) et ortho (liés à la présence de nombreuses intercalations basiques et ultrabasiques grenues, en grande partie orthogneissifiées).

Après les descriptions pétrographiques de A.LACROIX (1921), l'essentiel des travaux de cartographie géologique a été effectué par P.BRENON (carte de reconnaissance au 1/200.000 1949-1952), puis par les géologues du BRGM (R.DUDAN, J.BOULLANGER, M.BERTUCAT, G.CLAIR 1962, M.BERTUCAT et J.CONRAUX 1963) avec lever d'une carte au 1/100.000 et l'établissement d'une synthèse régionale au 1/500.000 (M.BERTUCAT et J.CONRAUX 1963). En 1966, nous avons pu acquérir sur le terrain une connaissance partielle de la série de l'Alao tra par le lever du tiers occidental de la feuille Vohimenakely, à l'Est du lac Alaotra.

B- Pétrographie sommaire.- Nous utilisons largement ici la synthèse, par H.BESAIRIE, des descriptions de P.BRENON et des géologues du BRGM (J.BOULANGER, M.BERTUCAT, J.CONRAUX).

On peut regrouper les différents faciès de l'Alaotra en un groupe cristallophyllien (qui constitue le fond de la série) et en un groupe gabbroïque et ultrabasique auxquels s'ajoutent plusieurs "noyaux" ou bandes granitisées et un important massif "charnockitique" complexe (à coeur gabbroïque) ou massif de Manakambahiny.

1- Groupe cristallophyllien.- Le groupe cristallophyllien comporte un fond de paragneiss plagioclasiques à amphibole et à pyroxène (avec une série à diopside et une série à hypersthène) dans lequel s'intercalent de nombreux niveaux d'amphibolites à hornblende verte et de parapyroxénites feldspathiques à diopside, sphène, plagioclases et parfois scapolite.

Assez fréquemment cet ensemble passe à des zones de migmatites rubanées de type épibolites à biotite, amphibole, pyroxène.

Les biveaux silico-alumineux, gneiss et migmatites rubanées à biotite, gneiss surmicacés, passant localement à des micaschistes à muscovite, bancs de quartzites blancs à sillimanite ou à magnétite, quelques niveaux gneissico-micaschisteux à sillimanite et grenat, leptynites hololeucocrates ou grenatifères, forment des intercalations très accessoires dans la masse de la série à dominance pyroxéno-amphibolique.

Néanmoins, sur le pourtour de la série, du moins à l'Est, (au niveau de la feuille Vohimenakely) les niveaux traditionnellement attribués à la série pyroxéno-amphibolique de l'Alaotra, au-dessus des migmatites de Brickaville, montrent une nette concentration de niveaux silico-alumineux : gneiss,

micaschistes et migmatites (granitoïdes et rubanées) à biotite, quartzites blancs et à sillimanite, leptynites à grenat identiques à celles du Brickaville Manampotsy. Le graphite y est également parfois présent en traces, dans plusieurs faciès : gneiss, micaschistes, quartzites.

Ces niveaux silico-alumineux et graphiteux, qui peuvent être interprétés dans l'hypothèse du Brickaville intercalaire comme la partir terminale de la série graphiteuse (ou Manampotsy supérieur) semblent aussi correspondre à ce que les géologues du BRGM définissent au Sud, sur le pourtour de la série du Beforona (prolongement de celle de l'Alaoatra) comme la "base silico-alumineuse" de la série du Beforona-Alaoatra, dans l'hypothèse du Brickaville en position "fondamentale".

Sur les 2/3 Sud de la feuille Vohimenakely, ces niveaux silico-alumineux forment une bordure continue large de 1 à 2 km à l'affleurement, accolée au Brickaville. Elle paraît passer en continuité au Nord à des migmatites surtout granitoïdes à biotite (schéma planche 20).

La faible importance à l'affleurement de ces niveaux silico-alumineux (appelés ici niveaux d'Ampanamanga) par rapport à la série à dominance pyroxéno-amphibolique qui s'étale très largement à l'Ouest doit être soulignée.

Nous reviendrons sur l'interprétation stratigraphique de ces niveaux lors de l'étude générale du passage Manampotsy-Alaoatra.

2- Groupe orthogneissique. - Il comporte essentiellement des faciès d'orthopyroxénites et orthoamphibolites feldspathiques : orthopyroxénites à hypersthène, diallage, pigeonite et augite ; orthoamphibolites à hornblende, hypersthène et pigeonite.

A.LACROIX donne 3 analyses de ces amphibolopyroxénites. L'analyse 1 correspond à un type granoblastique commun, à augite hypersthène ; l'analyse 2 est un type plus rare, qui contient de l'olivine (en inclusions dans les grains d'augite), cette dernière englobée poecilitiquement dans des plages plus grandes de hornblende brune ; l'analyse 3 correspond à une amphibolite à hornblende très foncée, avec un peu de diopside et de magnétite titanifère, cerclée de sphène, développée au contact des diallagites du mont Ankitsika.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	H ₂ O ₊	H ₂ O ₋	Total
1..	48,34	13,06	7,14	7,71	10,08	9,42	1,84	0,25	1,03	0,18	1,19	0,15	100,74
2..	47,57	13,07	5,58	8,48	8,00	11,88	2,51	0,63	1,58	0,49	0,15	0,09	100,03
3..	47,36	7,05	4,72	9,11	13,91	14,27	0,72	0,14	1,89	0,10	0,51	0,10	99,88

Ces orthopyroxénites et orthoamphibolites bordent les principaux massifs gabbroïques et forment également de nombreux niveaux ou alignements de lentilles interstratifiées dans les paragneiss.

Les faciès grenatifères (à almandin) semblent accessoires dans l'Alaoatra ; ils seraient plus fréquents dans la série de Beforona au Sud (bordures des massifs d'Ankera et de l'Andriantantely). Il semble néanmoins que, dans les mêmes conditions de métamorphisme, les faciès pyroxéniques (à diopside, hypersthène, hornblende) dominent très largement, dans l'ensemble de l'Alaoatra, sur les faciès d'orthoamphibolites et de pyroxénites grenatifères à almandin, très largement représentés, à l'inverse, dans les séries sous-jacentes et orientales du Manampotsy, et des migmatites de la falaise et d'A^{di}riana. On retrouverait donc ici une répartition régionale des faciès orthogneissiques (faciès alumino-ferrifères dans le Manampotsy et les migmatites d'A^{di}riana et de la falaise, et faciès plus calciques et ferro-

magnésiens de l'Alaotra) allant dans le même sens que celle des paragneiss encaissants : faciès silico-alumineux dominant dans le Manampotsy et les migmatites sous-jacentes, faciès silico-calciqne dominant dans l'Alaotra Beforona ?

3- Groupe gabbroïque et ultrabasites. - Le groupe gabbroïque comporte des types minéralogiques variés des diorites à pyroxène et andésine (rares) aux types holomélanocrates. Les gabbros communs peuvent être séparés en termes à pyroxène (gabbros à hypersthène et augite, diallagites), et en termes à olivine ; ces derniers se subdivisant en faciès pyroxéniques pauvres en olivine, et en faciès riches conduisant à des troctolites et à des allivalites. Les norites vraies sont rares. Il existe quelques anorthosites.

A.LACROIX donne deux analyses de gabbros mélanocrates (4 et 5) et une analyse de diallagite (6).

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	H ₂ O+	H ₂ O-	Total
4..	47,22	7,08	4,78	7,61	18,61	11,74	1,19	0,37	1,01	0,18	0,56	0,48	100,61
5..	49,22	8,14	8,94	5,58	13,51	10,46	1,74	0,31	1,97	0,06	0,14	0,24	100,31
6..	48,40	8,66	0,95	10,12	14,59	14,59	0,54	0,14	1,60	0,07	0,31	0,13	100,20

(4) gabbro mélanocrate (A^{di} manga) à olivine et hypersthène et diallage. IV,5,(3)4,4.

(5) gabbro mélanocrate (Amboavory) à hypersthène et diallage. IV.4(5).(3)4.4(5).

(6) diallagite (Ankitsika). IV,6,(4)5,(4)5.

Les variations texturales (types "schisteux" à grenus) et granulométriques (grain fin à pegmatitique) sont nombreuses, et M.BERTUCAT et J.CONRAUX remarquant qu'il existe une relation générale entre ces variations de texture et la minéralogie, établissent une distinction principale entre gabbros "schisteux" et gabbros "grenus".

1. The first part of the document is a list of names and addresses, which are arranged in a table-like format. The names are written in a cursive script, and the addresses are written in a more formal, printed style. The list is organized into four columns, with the first column containing the names, the second column containing the addresses, and the third and fourth columns containing additional information, such as dates and times.

Les types grenus fréquemment à olivine, avec diallage ou hypersthène, augite et hornblende accessoires, occupent en général le centre des massifs et s'accompagnent de différenciations pyroxénolitiques parfois importantes : diallagites, bronzitites, hypersthénites, souvent à très gros grain, et de ségrégations accessoires de titanomagnétite.

Les types schisteux sont essentiellement pyroxéniques à plagioclase basique, diallage et augite rares, hypersthène et pigeonite bien représentés. Leur structure est souvent granoblastique, avec des traces de cataclase fréquentes (plagioclases et pyroxènes à mâcles tordues et parfois bordures granulées). Ils se localisent sur la bordure des massifs.

Les gabbros schisteux paraissent donc correspondre assez souvent à des faciès à résidus ou granoblastiques qui se confondent avec les orthopyroxénites de A.LACROIX.

Du point de vue de l'origine (et surtout de la mise en place) des "complexes" basiques plusieurs hypothèses ont été avancées. Pour A.LACROIX, P.BRENON et J.AUROUZE, il ne fait pas de doute que les amphibolopyroxénites dérivent de la transformation progressive des gabbros grenus comme semble le prouver la structure générale des massifs à "noyaux" grenus et bordures métamorphiques. De même, R.GIRAUDON (1960) regroupe l'ensemble des faciès gabbroïques et amphibolopyroxéniques du Beforona (prolongement de l'Alaotra) dans sa "série basique de la Rianila" qu'il décrit comme "formée de sills, massifs interstratifiés, et d'un phacolithe (Andriantantely), dont "le mode de gisement" actuel résulte d'écrasements et de laminages qui les ont orientés conformément à la foliation d'ensemble des schistes cristallins encaissants. Et R.GIRAUDON conclut en assimilant sa série basique de la Rianila aux roches basiques de la série d'Andriamena, décrites par P.GIRAUD (Thèse Clermont 1957) comme des intrusions

anciennes de roches grenues mises en place dans les formations déjà métamorphisées lors de l'orogénèse majeure du vieux socle précambrien (2600 MA) et reprises dans un ou plusieurs cycles métamorphiques ultérieurs.

M.BERTUCAT et J.CONRAUX (1963), pour ces mêmes formations du Beforona-Alaotra décrites par R.GIRAUDON, puis M.BERTUCAT et G.JOURDE (1966) mettent surtout l'accent sur leur caractère "stratoïde" remarquable et considèrent qu'il s'agit essentiellement d'un caractère originel résultant d'une injection sous forme de "lames" et de "sills", "mises en place postérieurement au dépôt de la série supérieure", c'est-à-dire ici de la série de l'Alaotra-Beforona. M.BERTUCAT souligne aussi le caractère complexe des passages pyroxénites-gabbros avec notamment l'observation, en opposition apparente avec la théorie simple de l'orthogneissification progressive de massifs grenus, du développement progressif des termes grenus gabbroïques dans les termes grano-blastiques "par accroissement de la dimension des minéraux constitutants et la disparition progressive ou brutale de la schistosité". Il remarque également que "les phénomènes de cataclase existent aussi bien dans les gabbros que dans les pyroxénites" et "qu'on peut voir des passages de gabbros à gros grain ou même pegmatitiques recouper localement les pyroxénites".

G.JOURDE (CRSG 1967) va plus loin et réinterprète, à la suite de ses travaux dans la région d'Andriamena, les "gabbros" en "lames", typiquement localisés aux sillons "en géosynclinaux" de l'Alaotra-Beforona et de l'Andriamena comme "provenant d'épanchements ophiolitiques". Dans la région d'Andriamena, d'après G.JOURDE, "la présence de brèches à boules de norite doléritique et ciment de gneiss à cordiérite confirme leur origine dans des coulées sous-marines, malgré l'absence apparente de pillow-lavas" (CRSG 1967, p.45).

Le problème de la mise en place et de la signification stratigraphique des complexes basiques d'Andriamena et du Beforona-Alaoatra apparaît donc encore sujet à controverse.

Au niveau de l'Alaoatra, chacun s'accorde néanmoins pour l'essentiel sur l'existence "actuelle" de vastes massifs stratoïdes, à coeur grenu riche en olivine, et à bordure de gabbros à dominance pyroxénique, plus ou moins orthogneissifiés.

Il ne faut pas, semble-t-il, s'en tenir à une interprétation trop exclusive. Il semble évident, en effet, que tout comme les complexes granitiques d'extension régionale, d'aussi vastes complexes basiques doivent réunir une série de termes dont les modalités de mise en place peuvent être très variées, aussi bien effusive qu'intrusive par exemple, et largement étalées dans le temps.

Les roches ultrabasiques existent en différenciations dans les gabbros ou en lentilles (isolées ou groupées en faisceaux concordants dans la schistosité générale) dans la série de l'Alaoatra.

Les différenciations internes des gabbros sont surtout représentées par des pyroxénolites ferrifères, souvent à très gros grain : hypersthénites, diallagites. Elles ne sont pas serpentinisées.

Les lentilles (puissance hectométrique, longueur quelques km) correspondent principalement à des pyroxénolites magnésiennes, plus ou moins transformées en trémolitites, soapstones et serpentines. Elles renferment accessoirement des noyaux péridotiques (dunites, harzburgites) de puissance métrique à décamétrique et d'allongement décamétrique à hectométrique, plus ou moins serpentinisées. Les serpentines et leurs latérites de recouvrement sont nickélifères, mais teneurs et tonnages sont très insuffisants. La lentille de Bemainty, découverte par le BRGM (800 x 280m) consti-

tue l'indice le plus important avec un tonnage reconnu par sondages de 21.200 t. à 1,26 % Ni (teneurs irrégulières dans les profils entre quelques dixièmes et 3 %).

De même, la mine de Valvert (ou Nickelville), connue depuis très longtemps par les anciens travaux de A.LENOBLE, et réétudiée récemment par le BRGM, se place sur une lentille de seulement 300 x 100 m, correspondant à un tonnage calculé de 6300 tonnes de nickel métal à 1,3 %.

4-Granites, migmatites et charnockites.- a-Granites et migmatites.- Au Nord-Ouest du lac Alaotra, s'individualise une zone granito-migmatitique importante (A^{no} tokana- A^{hi} mirahavavy). Elle correspond à une structure anticlinale flanquée à l'Est et à l'Ouest par les structures synclinales pyroxéno-amphiboliques à coeur gabbroïque de l'Anketsika et de l'Anony.

Plus au Nord, sur la feuille Miarinarivo, le prolongement de cette zone paraît marqué dans les migmatites à résidus amphibolopyroxéniques de l'Androna, par des bancs de granites stratoïdes (cf. carte hors-texte).

A l'Est, au delà du massif de l'Anony, une deuxième zone migmatitique importante se développe au contact du Brickaville. Sur la feuille Vohimenakely, au Sud, elle se situe dans le prolongement des faciès silico-alumineux de la "base" de l'Alaotra ou du Manampotsy "supérieur". Au Nord, elle s'élargit au niveau de la feuille Maroadabo (C.ALSAC). Elle surmonte la série graphiteuse proprement dite à l'Est (leptynites, gneiss et migmatites à graphite) mais C.ALSAC éprouve les mêmes difficultés qu'au Sud pour la rattacher à l'un ou à l'autre ensemble (graphite ou 'Beforona-Alaotra). Il remarque en effet d'abord que cette série migmatitique à biotite amphibole fait partie d'un "ensemble qui se raccorde vers le Sud au complexe Beforona-Alaotra défini par

M.BERTUCAT et J.CONRAUX". Il les attribue cependant encore au Manampotsy supérieur, seules les épiholites amphiboliques qui les surmontent à l'Ouest appartenant alors au Beforona (ou Vohibory) proprement dit. Il souligne néanmoins que "la limite migmatites à biotite et amphibole - gneiss et épiholites amphiboliques est surtout fondée sur des faciès de granitisation et ne correspond probablement pas exactement à une limite stratigraphique plus ancienne" (TBG.n°123, p.9).

Ces migmatites montrent une prédominance de faciès d'embrécites à biotite amphibole à tendance rubanée, des faciès localisés d'anatexites, d'épiholites et surtout de diadysites (veines et filons granitiques, souvent pegmatitiques recoupants). C.AL-SAC distingue en plus autour d'Analamanga, dans la partie Nord de la feuille Maroadabo, formant un repli synclinal dans la série migmatitique plus leucocrate, une zone particulière d'agmatites amphiboliques à enclaves amphiboliques et micacées de grande taille (métriques) qu'il rapproche des faciès amphiboliques développés à l'Ouest dans la série "supérieure" des gneiss et épiholites de l'Androna.

Le graphite est absent de cet ensemble migmatitique. Les intercalations rencontrées, rares, sont par ordre d'importance décroissante : des amphibolopyroxénites feldspathiques, quelques gneiss wernéritiques à pyroxène (avec de rares intercalations de cipolins), des quartzites à magnétite, et quelques affleurements de pyroxénolites et de serpentine.

b- Charnockites.- Au Sud-Est du lac Alaotra, dans le prolongement apparent de la zone "granitisée" de l'A^{no} tokana-A^{hi} mirahavavy (cf. carte hors-texte) se situe une importante (15 x 10km) "zone" charnockitique, signalée pour la première fois par P.BRENON (1952). Son étude a été reprise récemment par A.RAZAFINIPARANY (1964) et doit être incluse dans son étude générale

des charnockites de Madagascar (Thèse en cours : A.RAZAFINIPARANY).

La description pétrographique donnée en 1964 par A.RAZAFINIPARANY (CRSG 1964, p.53 à 55) indique un massif constitué par un "ensemble de texture généralement gneissique qui comporte des termes basiques gabbroïques, des termes intermédiaires dioritiques, syénitiques, granodioritiques et des termes acides granitiques et même parfois essentiellement quartzitiques". Toutes sont caractérisées par leur couleur sombre (coloration vert-jaune à brun foncé de tous les feldspaths, plagioclases et alcalins) et par la présence d'hypersthène associé dans les termes gabbroïques à augite, andésine labrador, apatite, magnétite, zircon, souvent un peu de quartz ; et dans les termes granitiques et syénitiques extrêmes à quartz, orthose perthitique, oligoclase, myrmékite, hornblende, biotite rare, apatite et magnétite. "Les termes gabbroïques occupent l'axe du massif. Tout autour se trouvent les termes dioritiques (dominants) intimement associés aux types granodioritiques et granitiques sans que l'on puisse en délimiter les contours".

Dans cet ensemble on trouve des noyaux de gabbros grenus et des enclaves d'amphibolopyroxénites à grenat analogues, les uns et les autres, aux faciès gabbroïques et amphibolopyroxéniques de la série de l'Alaotra. Et, pour conclure, A.RAZAFINIPARANY émettait l'hypothèse de l'origine métasomatique de l'ensemble charnockitique à partir de roches gabbroïques (CRSG 1964, p.55) "par un apport quartzique suivi d'un apport potassique tardif".

Ce schéma s'accorde avec le "processus de charnockitisation" accessoire décrit par R.GIRAUDON dans le phaccolite gabbroïque de l'Andriantantely, caractéristique des formations intrusives basiques synclinoriales du groupe de l'Alaotra-Beforona. Indépendamment de l'interprétation pétrogénétique, il existe ainsi

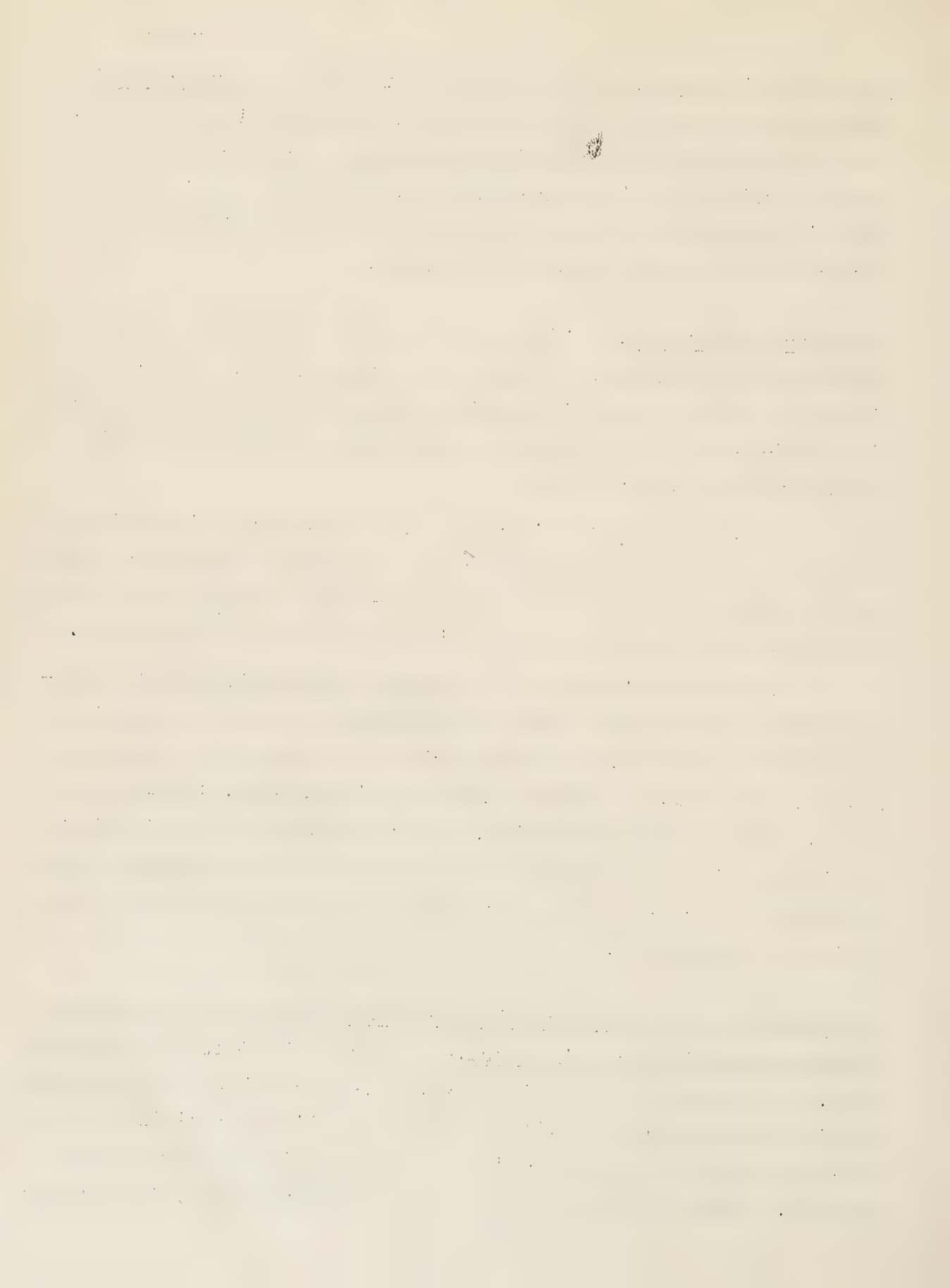
une série d'arguments de terrain qui militent en faveur de l'assimilation du massif charnockitique de Manakambahiny aux formations gabbroïques et amphibolopyroxéniques caractéristiques du groupe terminal de l'Alaoatra-Beforona. Ce fait a son importance dans l'interprétation structurale de la série de l'Alaoatra et vis-à-vis de la stratigraphie régionale.

C- Aperçu structural.- L'ébauche en a été présentée au cours des paragraphes précédents. De part et d'autre du lac, la série de l'Alaoatra dans sa zone d'extension maximale présente une direction Nord-Ouest très constante, identique à celle de la série du Bas Androna plus au Nord.

Au Nord-Ouest de l'Alaoatra, les structures s'organisent autour de deux synclinoriaux à coeur gabbroïque (Analalava-Anony au NE, Ankitsika au SW - cf. carte hors-texte) séparés par la ride anticlinoriale granitisée de l'Andranotokana-A^{hi} mirahavavy.

Au Sud de l'Alaoatra, le "massif charnockitique" de Manakambahiny se situerait dans le prolongement de cet axe granitisé du Nord-Ouest du lac. Le synclinorium de Nickelville correspond visiblement au Sud au prolongement de l'Ankitsika, tandis qu'au Nord du massif de Manakambahiny, le prolongement de la structure de l'Anony n'est que probable dans les formations pyroxéno-amphiboliques très redressées qui couvrent la partie Sud-Ouest de la feuille Vohimenakely.

D- Passage de la série graphiteuse du Manampotsy à la série pyroxénoamphibolique de l'Alaoatra.- Au Sud de la feuille Vohimenakely, le passage de la série Manampotsy-Brickaville aux pyroxéno-amphibolites proprement dites se fait par l'intermédiaire de formations variées à intercalations silico-alumineuses fréquentes (gneiss, migmatites rubanées à biotite et quartzites) très acces-



soirement graphiteuses, superposées au Brickaville, que l'on peut aussi bien interpréter comme la partie terminale du Manampotsy que comme la base silico-alumineuse de l'Alaotra.

Au Nord, à ces niveaux silico-alumineux succèdent des formations migmatitiques à biotite amphibole, non graphiteuses. Ces dernières formations présentent ici un faciès beaucoup plus proche, dans l'ensemble, de celui des migmatites épibolitiques à résidus pyroxéno-amphiboliques (continuité exacte de la série pyroxéno-amphibolique de l'Alaotra) auxquelles elles passent progressivement à l'Ouest, que de celui des leptynites graphiteuses, prolongement du Brickaville-Manampotsy, auxquelles elles se superposent à l'Est.

Les mêmes migmatites non graphiteuses réapparaissent dans la ride anticlinoriale Andranotokana-A^{hi} mirahavavy, mais dans les formations pyroxéno-amphiboliques qui leur sont superposées, on retrouve accessoirement des traces de graphite, notamment au Sud-Est (région d'Imerimandroso, cf. carte hors-texte), associées à des petits niveaux quartzitiques intercalaires.

Ainsi, en se basant soit sur le caractère silico-alumineux et accessoirement sur la présence du graphite, soit sur le caractère amphibolique dominant, il existe une difficulté certaine à tracer la limite, à ce niveau, entre la série graphiteuse et la série pyroxéno-amphibolique de l'Alaotra. Ce que traduit sur notre carte d'ensemble l'attribution au groupe à dominance silico-alumineuse du Sahantaha-Manampotsy des niveaux gneissiques et migmatitiques accessoirement graphiteux, superposés au Brickaville au Sud et, au contraire, au groupe terminal de l'Androna des migmatites amphiboliques et des granites du Nord et de la partie centrale du synclinorium de l'Alaotra.

Il pourrait paraître plus logique d'attribuer également ces migmatites amphiboliques et ces granites au groupe du Sahan-

taha-Manampotsy. Nous verrons néanmoins que dans l'Androna, à part de rares exceptions : gneiss silico-alumineux, non graphiteux, intercalaires associés à des pyroxénites et cipolins dans le synclinal de Mandritsara et intercalations graphiteuses (gneiss et cipolins) du synclinal de Marovato accolé aux migmatites précédentes (à l'extrémité Nord de la feuille Maroadabo - cf. carte structurale hors-texte), la limite entre la série graphiteuse et silico-alumineuse (Andranokely) et les formations migmatitiques à dominance pyroxénoamphibolique superposées, est au contraire dans l'ensemble nette, et qu'en plus des masses importantes de granites et de migmatites se développent de toute évidence dans la série pyroxénoamphibolique supérieure.

Au niveau de l'Alaotra, l'existence de faciès intermédiaires s'accorderait d'autre part avec l'idée qu'il n'y a pas de coupure absolue entre la sédimentation de type "flysh" pélitique et charbonneux du Manampotsy à intercalations arkosiques ou rhyolitiques plus fréquentes vers le sommet (Brickaville et leptynites) et les paragneiss silico-calciques de l'Alaotra, série dont le caractère basique est encore amplifié par l'abondance à ce niveau des intrusions et intercalations gabbroïques et ultrabasiques métamorphisées. Il existerait tout au plus une phase tectonique entre les deux ensembles, à laquelle correspondrait la discordance cartographique (mal caractérisée sur le terrain) qui semble devoir se situer entre les formations Nord-Ouest de l'Alaotra, au Sud du massif charnockitique de Manakambahiny et les formations graphiteuses subméridiennes du Brickaville-Manampotsy, à l'Est.

L'axe anticlinal granitisé d'A^{no}tokana-Ambohimirahavavy ne correspondrait ainsi qu'à une remontée anticlinale de migmatites amphiboliques et de granites intercalaires superposés au Brickaville, et non à un socle granitique plus ancien, équivalent par exemple à une remontée des granites et migmatites des zones anti-

clinoriales majeures des Hauts Plateaux de Tananarive et de l'axe Ambodiriana-falaise, qui encadrent à l'Ouest et à l'Est la série de l'Alaotra et la série graphiteuse.

Du point de vue lithologique, notre interprétation stratigraphique pourrait trouver une confirmation indirecte dans le fait que l'anticlinal "granitisé" de l'A^{no}tokana-A^{hi}mirahavavy semble prolongé au Sud-Ouest de l'Alaotra par la zone charnockitique de Manakambahiny qui correspond à un matériel gabbroïque originel identique à celui des massifs stratoïdes synclinoriaux de l'Alaotra ?

Il n'est enfin aucunement nécessaire de faire intervenir la notion de socle pour expliquer une migmatisation et une paléogénèse granitique localement intenses, dans la série terminale de l'Alaotra qui se situe dans son ensemble à la base du faciès amphibolite : zone B₂₋₃.

III- SERIE DE L'ANDRONA.- A- Définition et localisation.- La série de l'Androna correspond à la réunion de 3 "séries" locales définies en 1964 :

- la série du Bas Androna (C.ALSAC et J.JOO') migmatitique et à dominance amphibolique qui couvre les bas plateaux de l'Androna, à l'Ouest des branches occidentales de la série graphiteuse de l'Andranokely, et dans le prolongement exact, au delà du tampoketsa d'Analamaitso, de la série pyroxéno-amphibolique de l'Alaotra, au Sud;

- la série de Mandritsara (G.HOTTIN) équivalent plus métamorphique (dominance pyroxénique) de la précédente ;

- les migmatites granitoïdes du Haut Androna (G.HOTTIN et E.LIANDRAT), partie intégrante du "massif" granitique de l'An-

drona, à faciès commun d'agmatites à résidus pyroxéno-amphiboliques.

L'assimilation stratigraphique actuelle de ces trois unités résulte de leur superposition identique à la série graphiteuse de l'Andranokely et accessoirement de la similitude lithologique évidente.

B- Pétrographie.- 1- Ectinites - a- Quartzites.- Les quartzites blancs, à gros grain, parfois vitreux, ou à rares paillettes millimétriques, disséminées dans la masse de biotite, existent en bancs épais de 10 à 20 m au maximum, continus sur plusieurs km (jusqu'à 10 ou 20 km).

Les quartzites sombres, à grain fin, friables, contenant une plus ou moins forte proportion de magnetite, souvent associée à un grenat plus ou moins manganésifère (patine noire caractéristique) sont beaucoup plus nombreux que les précédents, formant des séries de "lentilles" ou de bancs de puissance métrique discontinus (quelques centaines de mètres d'extension) interstratifiés dans la masse migmatitique. Tous les termes de passage existent en outre entre quartzites et grenatites quartzieuses à hypersthène ou diopside ferri-fère.

Les quartzites blancs sont surtout présents dans la partie centre-Nord de la "série" du bas Androna et notamment de part et d'autre des bandes graphiteuses occidentales. Les quartzites à magnétite ont une aire de répartition plus large, néanmoins également axée sur la zone privilégiée précédente. Les uns et les autres sont très rares à l'Est dans la région de Mandritsara.

On retrouve ainsi, à l'échelle régionale, une répartition privilégiée des niveaux quartzitiques qui s'accorde avec celle observée dans la série graphiteuse sous-jacente (plus

grande abondance des quartzites dans les bandes graphiteuses occidentales), mais différence essentielle avec la série graphiteuse, les bancs quartzitiques à sillimanite et graphite sont totalement inconnus dans la série de l'Androna.

b-Pyroxénites et amphibolopyroxénites.- Ces roches constituent les intercalations les plus nombreuses et les plus caractéristiques. Les bancs les plus épais peuvent atteindre une puissance de l'ordre de 100 m (bancs du Nord de Mandritsara très continus). Généralement cependant la puissance reste d'ordre décamétrique.

Les variations du métamorphisme (qui, dans cette vaste série, peuvent se schématiser par de nombreuses oscillations couvrant la majeure partie du faciès B₂₋₃ et accessoirement le faciès granulite à hornblende) et de la géochimie (coexistence de termes calciques et alumino-ferrifères notamment) rendent encore difficile une classification minéralogique et régionale.

Les pyroxénites calciques à diopside, plagioclase basique (labrador bytownite), sphène, accessoirement grenat, phlogopite, humite, serpentine, calcite, magnétite, existent surtout à l'Est dans la région de Mandritsara et dans celle de Marovato Andohajango à l'Ouest, c'est-à-dire dans la partie Sud-Est de la série du Bas Androna, à proximité de la base des bandes graphiteuses. Ces bancs pyroxéniques sont identiques à ceux de la série graphiteuse immédiatement sous-jacente. Dans la région de Mandritsara, ils s'associent en plus à des lentilles de cipolins à minéraux ou dolomitiques et de grenatites, réalisant ainsi localement l'association type de la séquence silico-calcique de la série graphiteuse.

Les amphibolopyroxénites sont de loin les plus communes, présentes à tous les niveaux de la série. A l'Ouest, dans la plu-

part des cas, on a affaire à des septas métriques de roches à faciès granoblastique homogène, où le pyroxène (diopside hédénbergite) et la hornblende à pléochroïsme vert-brun marqué sont présents en quantités à peu près égales. Il s'y ajoute souvent un peu de biotite, très pléochroïque, à contours fréquemment flous, d'aspect "envahissant" (minéral de néoformation ?). Le plagioclase est de l'andésine labrador. Apatite et minerais sont présents, avec parfois un peu de grenat. Certaines de ces amphibolopyroxénites de l'Ouest contiennent en plus un peu d'hypersthène, dispersé, au même titre que le diopside, dans le fond granoblastique homogène, sans aucun caractère résiduel apparent. Assez souvent d'ailleurs, les 2 pyroxènes sont accolés avec une même orientation cristallographique.

A l'Est et au Sud-Est, l'hypersthène devient dominant et se trouve parfois seul représenté, avec la hornblende et le plagioclase (labrador), notamment dans les régions de Mandritsara et d'Andohajango.

c- Gneiss. - Les gneiss forment la trame, centimétrique à décimétrique, du fond géologique de migmatites rubanées de la série ; et accessoirement, des intercalations plus importantes soit concentrées au niveau de zones synclinoriales à dominance gneissique et amphibolopyroxénique, notamment à l'Ouest et au Nord-Ouest (synclinal de Leanja), soit en septas résiduels, au niveau des synclinaux "granitisés" de la région Nord de Mandritsara.

Minéralogiquement, ils se différencient des amphibolopyroxénites précédentes par l'adjonction, aux paragenèses décrites pour ces roches, d'une proportion importante de quartz et plus accessoirement de biotite.

On distingue ainsi :

- Des gneiss à biotite amphibole, généralement finement lités, à structure granolépidoblastique régulière, plagioclase bien développé, quartz, hornblende verte abondante, biotite à fort pléochroïsme (brun à jaune), apatite, zircon. Un peu de microcline moiré apparaît souvent en plus dans ces gneiss, trame commune des épiholites de l'Ouest, parfois recoupés par des chevelus ramifiés de filonnets aplitiques (faciès diadysites) ;

- Des gneiss à diopside hédénbergite, amphibole, avec quartz, oligoclase andésine, diopside ferrifère, hornblende verte, minerais, apatite, zircon et accessoirement biotite, calcite, sphène, microcline et myrmékite.

Les relations entre ferro-magnésiens ne sont pas toujours nettes. La biotite encadre souvent la hornblende, de même qu'on trouve parfois des restes de pyroxène altéré (diopside hédénbergite) au centre des cristaux d'amphibole. Mais ce phénomène apparent de rétro-morphose n'est pas constant et souvent pyroxène, amphibole et biotite, dispersés dans un même fond granoblastique homogène, paraissent au contraire représenter des éléments contemporains dont la coexistence s'accorde ainsi avec une paragenèse type, dans le faciès B₂₋₃, de roches marneuses (plagioclase+hornblende+diopside+quartz+biotite+orthose) ;

- Des gneiss à hypersthène : une certaine proportion d'hypersthène apparaît souvent associée au diopside ferrifère et à la hornblende et on peut faire la même remarque d'ordre général que pour les amphibolopyroxénites, avec la prédominance marquée à l'Est des faciès pyroxéniques sur les faciès amphibolitiques et le remplacement apparent, conjointement du diopside par l'hypersthène, conduisant ainsi dans la région Nord de Mandritsara à des faciès de gneiss plagioclasiques à hypersthène dominant avec accessoirement diopside, hornblende, quartz, biotite (feldspath potassique), apatite. Assez souvent, la bio-

tite (très pléochroïque) et plus rarement la hornblende sont seules représentées avec l'hypersthène, un plagioclase de basicité très variable et le quartz et, comme pour les amphibolopyroxénites, ces associations granoblastiques homogènes à biotite hornblende hypersthène ne montrent pas d'indices évidents d'inter-réactions rétro-morphiques.

d- Autres faciès.- Les faciès silico-alumineux ne sont représentés que par des intercalations réduites, de puissance métrique à décamétrique. Il s'agit le plus souvent de faciès leptynitiques à sillimanite et grenat, identiques à ceux de la série graphiteuse sous-jacente et localisés aux zones synclinales du Nord de Mandritsara.

A l'extrême Sud-Ouest, sur le pourtour de la terminaison de l'axe anticlinorial migmatitique majeur ou des hauts plateaux de Tananarive (cf. carte hors-texte), la base épibolitique de la série du Bas Androna comporte également d'assez nombreuses intercalations leucocrates à hololeucocrates décrites par J.JOO' comme des migmatites, soit "leptynitiques" à quartz, microcline, oligoclase andésine, à texture à quartz "étiré" caractéristique : "la structure est granolépido-blastique". Les cristaux de quartz sont engrenés les uns dans les autres et allongés suivant une direction "privilégiée" ; soit "granitoïdes" pratiquement hololeucocrates, à structure grenue homogène, avec quartz, microcline perthitique, oligoclase andésine, rare biotite, mais très fréquemment nombreux octaèdres dispersés de magnétite millimétriques.

2- Migmatites.- a- Epibolites et embréchites rubanées.- La plupart des migmatites correspondent à des faciès d'épibolites franches avec des alternances d'ordre centimétrique à décimétrique de bandes gneissiques mélanocrates et de bandes quartzo-

feldspathiques leucocrates. Lorsque cette séparation est moins nette, on passe à des faciès d'embréchites rubanées ou oeillées. Les faciès d'épibolites franches dominant dans la partie centrale et orientale de la série du Bas Androna et à l'Est dans la série de Mandritsara, c'est-à-dire dans les zones de plus haute intensité métamorphique. Les faciès d'embréchites sont au contraire plus abondants à l'Ouest, associés notamment aux migmatites leptynitiques de la bordure de l'anticlinorium majeur Mampikony-Ambakireny.

Cette répartition des faciès d'embréchites semble donc refléter un caractère géochimique originel (faciès plus silico-alumineux à l'Ouest) plutôt que le résultat d'une homogénéisation en fonction de l'intensité du métamorphisme plus poussé.

La composition minéralogique des bandes quartzo-feldspathiques est généralement influencée par celle de la trame :

- bandes leucocrates à biotite, à microcline perthitique envahissant (inclusions de quartz, biotite, oligoclase). quartz, oligoclase, myrmékite, biotite, apatite, dans les faciès d'embréchites rubanées et d'épibolites à trame de gneiss à biotite et hornblende ;

- bandes leucocrates à biotite amphibole, sphène pour les niveaux à trame plus amphibolique ;

- bandes leucocrates à biotite, diopside, hypersthène, au contact des niveaux pyroxéniques. Le pyroxène est parfois décrit à l'Ouest comme résiduel en voie d'ouralitisation ou de transformation en biotite ; mais le plus souvent il existe comme dans la trame en éléments granoblastiques indépendants en même temps que biotite et hornblende très pléochroïques.

Le plagioclase est en moyenne de l'oligoclase andésine An 30. Les paragenèses les plus complètes comportent ainsi fré-

quement : microcline et myrmékite (abondants), oligoclase andésine An₃₀, quartz, hornblende verte, biotite, diopside ferrifère ou hypersthène, apatite, sphène, calcite, oxydes de fer.

Assez souvent, dans la région de Mandritsara, les termes à hypersthène ou diopside ferrifère montrent la coloration caractéristique brun-verdâtre du faciès malgachitique. Par leur composition minéralogique dominante (quartz, microcline perthitique, hypersthène) comme par leur aspect, ces bandes quartzo-feldspathiques leucocrates à intercalations pyroxéniques s'apparentent ainsi aux faciès charnockitiques les plus classiques.

b- Migmatites granitoïdes du massif granitique de l'Androna..- Les granites "stratoïdes" du massif de l'Androna correspondent à une série de termes variés : hololeucocrates à monzonitiques, massifs ou orientés, aplitiques ou porphyroïdes, avec accessoirement des différenciations syénitiques, dioritiques, gabbroïques, anorthositiques. A l'Ouest et au Sud, ces granites s'intercalent dans la série épibolitique, tandis qu'au Nord de Mandritsara, ils se situent pour la plupart dans un fond d'agmatites amphiboliques, largement dominantes, dérivant visiblement d'un matériel épibolitique et amphibolopyroxénique identique à celui de la série adjacente de l'Androna. Les septas épibolitiques ou gneissiques à hypersthène, amphibole et biotite forment des enclaves métriques emballées dans un matériel quartzo-feldspathique généralement à gros grain, à amphibole biotite, plus ou moins orienté, le tout étant recoupé par plusieurs générations de filons pegmatitiques et aplitiques, rectilignes, de puissance décimétrique à métrique. Les relations complexes de ces divers faciès : contacts progressifs ou recoupants, succession de filons parfois décalés et digités, peuvent notamment être observées sur les nombreux bed-rocks des rivières

secondaires qui, entre les inselbergs constitués par les principaux massifs granitiques, entaillent profondément le fond migmatitique.

3- Formations basiques (d'origine magmatique) métamorphisées.-

a- Gabbros et diorites.- La majeure partie des intercalations amphibolopyroxéniques et pyroxéniques à diopside et hypersthène, à structure granoblastique homogène, de la série de l'Androna dérive probablement de la recristallisation d'un matériel basique originel, comme les faciès identiques de la série de l'Alaotra, pour lesquels le passage en continuité à des noyaux à structure gabbroïque conservée peut être observé.

Il existe également, dans la série de l'Androna, plusieurs régions (dans le synclinal de Mandritsara à l'Est, dans le massif différencié d'Itrobeka à l'Ouest et dans son environnement : secteur d'Andrafiabe-Vakoana) où ce passage en continuité de termes gabbroïques ou dioritiques à des termes pyroxéniques et amphiboliques existe.

Mais, ici, les principales masses gabbroïques et dioritiques identifiables sont nettement associées aux massifs granitiques complexes de l'Androna, qui sont décrits par la suite. Et, en dehors de ces différenciations gabbroïques à dioritiques principales liées aux granites, les lentilles gabbroïques à structure conservée n'ont été identifiées qu'à l'Ouest : secteur d'Andrafiabe (cf. carte hors-texte). Elles montrent des faciès grenus à hypersthène et labrador zoné dominants, augite accessoire passant à des termes granoblastiques à phénocristaux d'hypersthène résiduels (transformation en biotite et hornblende verte) alors que la hornblende brune associée au fond granoblastique à labrador, diopside, biotite et apatite semble primaire. La disparition de l'hypersthène s'accorde ici avec la situation de cette zone dans le sub-faciès B₂₋₃.

A l'Est, dans l'environnement du massif granitique et dans les septas gneissico-migmatitiques intercalaires, les lentilles basiques correspondent surtout à des faciès de diorites et à des granodiorites de texture variable (grenue ou orientée) à andésine, microcline rare, quartz, hypersthène, diopside, biotite, hornblende plus ou moins abondante, apatite, oxyde de fer. Elles présentent généralement la coloration vert-brunâtre caractéristique du faciès "malgachitique", ou charnockitique, et ont été de ce fait généralement cartographiées en "granodiorites à faciès malgachitique" ou en "charnockites basiques" (granodioritiques, dioritiques et accessoirement gabbroïques).

On peut noter une répartition régionale préférentielle des lentilles dioritiques ou gabbroïques, qui s'accorde avec celle observée pour les masses basiques associées aux massifs granitiques.

b- Ultrabasites.- Il s'agit de lentilles de pyroxénolites et de quelques péridotites, toutes de petite taille (allongement hectométrique, puissance métrique à décamétrique) souvent parcourues de filonnets pegmatitiques et quartzeux recoupants.

Les principaux alignements se groupent dans la série du Bas Androna, au Nord de la Sofia.

A l'Est, n'existent que des lentilles isolées : pyroxénolites à l'Est de Marangibato, et péridotite à giobertite au Sud de Mandritsara par exemple.

Les pyroxénolites sont des roches grenues à gros grain (cristaux centimétriques), constituées par l'association d'hypersthène et d'augite diallage. Parfois le pyroxène orthorhombique est de l'enstatite.

Elles sont partiellement transformées, surtout à l'Ouest, en amphibolites à trémolite actinote et anthophyllite auxquels

s'ajoutent souvent talc et serpentine. Les rares péridotites sont transformées en serpentine terreuse à structure conservée. Elles contiennent souvent un peu d'hypersthène. La biotite se développe parfois sur les clivages et les cassures à l'intérieur des pyroxènes.

Ces pyroxénolites sont identiques à celles, parfois chromifères, de la série graphiteuse sou-jacente : indices de Beriana et de Zafindravavy. Elles n'ont cependant pas fourni jusqu'ici de trace de minéralisation. De même, aucune minéralisation notable en nickel n'apparaît liée aux péridotites.

C- Aperçu structural.- Dans sa majeure partie (sauf sur la bordure Sud-Ouest) la série du Bas Androna correspond à une succession de plis serrés, à pendages Ouest dominants, de direction N.20-N.30°W très constante, dissymétriques (obliques, déjetés ou déversés à l'Est) qui aboutit assez souvent à l'apparence d'une structure isoclinale à déversement Est généralisé.

Néanmoins, l'existence de fermetures normales et de nombreuses structures obliques identifiables permet d'assurer la réalité des principales unités portées sur la carte tectonique hors texte.

Ces successions répétées d'unités très allongées (10 à 20 km en moyenne pour 1 à 3 km au maximum d'extension en largeur) lithologiquement équivalentes, permettent difficilement d'apprécier la puissance maximale possible de la série de l'Androna, La limite supérieure est d'ailleurs inconnue.

En effet, à l'Ouest, en bordure du sédimentaire, entre la Sofia et l'Anjobony, l'élargissement en éventail des plis autour de la zone centrale synclinoriale de Learija permet bien d'attribuer aux formations de ce secteur une position "terminale"

dans la série de l'Androna, mais fait toujours affleurer le même complexe d'épibolites à intercalations d'amphibolopyroxénites.

Au Sud-Ouest, autour de la terminaison périclinale de l'anticlinal migmatitique majeur des hauts plateaux, les formations de la série de l'Androna s'étalent aussi plus largement, dessinant une série d'unités synclinales d'orientation variable (cf. carte hors-texte). Et le prolongement de ces unités sur le flanc Ouest de l'anticlinal migmatitique assure de façon certaine le passage en continuité, dans la région de Mampikony, des formations de la série de l'Androna à celles du sillon synclino-rial d'Andriamena.

A l'Est, la continuité Alaotra-Bas Androna est également certaine (C. ALSAC 1966). Le prolongement de la ride granitisée A^{no}tokana-A^{hi}mirahavavy qui, au Sud, sépare en deux moitiés le synclinorium du Beforona Alaotra, paraît même avoir son équivalent jusqu'à l'extrême Nord-Ouest de la série du Bas Androna dans la zone anticlinale qui s'amorce sur le flanc Ouest du synclinal de Leanja. Le massif granito-gabbroïque de l'Itrobeka se situant légèrement à l'Est de cette ride.

La position synclinoriale des migmatites amphibolopyroxéniques situées entre les deux bandes graphiteuses occidentales a été démontrée dans le cours de l'étude structurale de la série graphiteuse.

Les migmatites amphibolopyroxéniques de la région de Mandritsara et les agnatites amphiboliques de la zone granitisée de l'Androna se caractérisent par le développement de larges cuvettes synclinales normales elliptiques ou quasi circulaires (Mandritsara, Ankiabe Sahohy - cf. détail planche 22) ou déversées à l'Est (Ankoaba, Kalançy) séparées par des rides anti-

clinales aiguës (carte générale hors-texte). On peut remarquer aussi la différence de style tectonique entre la zone graniti-sée du Haut Androna à structures divergentes largement étalées et les épi-bolites à plis réguliers et serrés, stratigraphique-ment équivalentes de l'Ouest et du Sud.

D- Conclusion.- La description pétrographique sommaire de la série de l'Androna souligne les similitudes lithologiques avec la série pyroxéno-amphibolique de l'Alaotra et s'accorde ainsi avec l'assimilation stratigraphique, imposée surtout par les données structurales de ces deux séries dans le même groupe terminal de l'Androna.

Du point de vue du métamorphisme, les paragenèses relevées dans les roches basiques dominantes sont celles du faciès B₂₋₃ et accessoirement du faciès granulite à hornblende. Avec de nombreuses récurrences, liées sans doute à la tectonique, le métamorphisme décroît dans l'ensemble d'Est en Ouest, c'est-à-dire à l'inverse de ce que nous avons vu jusqu'à présent à l'Est depuis le groupe de l'Antongil jusqu'à la série graphiteuse, sou-bassement de celle de l'Androna.

La zone d'intensité maximale est représentée par des faciès à hypersthène stable. Elle est centrée sur la zone des épi-bolites de la région de Mandritsara et englobe aussi à ce niveau, de part et d'autre, la majeure partie de la série graphiteuse (riche en leptynites à grenat et pyroxénites wernéritiques) et, à l'Ouest, la bordure de la série du Bas Androna.

Cette zone d'intensité métamorphique maximale encadre ainsi le "massif granitique" de l'Androna dont nous abordons maintenant la description.

IV- GRANITES DE L'ANDRONA.- A- Définition et localisation.- Le massif granitique de l'Androna occupe au Nord de Mandritsara la majeure partie de la zone comprise entre les branches occidentales et orientale de la série graphiteuse (moitié Nord de la feuille Mandritsara et feuille A^{di}bonara). Il atteint son maximum d'extension un peu plus au Nord, dans la région d'Antsakabary et se poursuit ensuite avec une virgation importante au Nord-Ouest en direction du Sambirano (situation carte hors-texte).

La partie Sud, d'axe subméridien, du massif nous intéresse seule ici.

A ce niveau, il nous est apparu nécessaire, comme nous l'avons exprimé dans la présentation du groupe de l'Androna, d'établir une distinction dans le massif "granito-migmatitique" indifférencié de l'Androna tel qu'il était antérieurement représenté, entre :

- le fond de migmatites granitoïdes à faciès d'agmatites amphibolopyroxéniques fréquent, comparable au fond d'épibolites amphibolopyroxéniques de la région adjacente de l'Androna
- et les granites proprement dits.

Les granites de l'Androna, sur les feuilles Mandritsara, Befandriana et A^{di}bonara, se développeraient essentiellement, à notre sens, dans un fond amphibolopyroxénique assimilable stratigraphiquement à la série terminale du Bas Androna, et accessoirement dans la série graphiteuse sous-jacente.

Dans la partie Nord-Ouest du massif, il est possible que cette interprétation ne soit cependant plus valable.

En effet, à ce niveau, la masse granito-migmatitique paraît figurer au contraire de la région synclinoriale du Nord

de Mandritsara un môle anticlinorial encadré par les séries graphiteuses à pendages normaux au Sud et au Nord-Est vers les séries du Bas Androna et du Sambirano et comportent accessoirement des lambeaux de gneiss graphiteux dispersés. La cartographie plus précise et la réinterprétation de cette zone n'ont pas encore été réalisées. Il peut s'agir soit d'une remontée anticlinoriale équivalente des formations migmatitiques de la falaise ou des hauts plateaux de Tananarive, soit d'un "noyau" différent ou plus ancien.

B- Caractères généraux des granites du Sud de l'Androna. - Ils représentent un ensemble pétrographique diversifié, allant des granites leucocrates à hololeucocrates, de texture aplitique massive à granoblastique orientée, jusqu'à des termes mésocrates, souvent à tendance porphyroïde, équants ou planaires. Les faciès planaires et porphyroïdes se développent surtout à la périphérie des principaux massifs grenus mésocrates, donnant parfois le schéma d'une auréole ocellée et plus rarement d'anatexites fluidales ou tourbillonnaires intermédiaires entre les granites et les agmatites ou épibolites encaissantes.

a- Les faciès grenus et porphyroïdes : Ils correspondent généralement dans la zone granitique principale du Nord de Mandritsara, à des strates ou à des empilements de strates épaisses de quelques centaines de mètres à plusieurs km, concordantes avec leur encaissant migmatitique et développées principalement, de façon très caractéristique, au niveau de structures synclinales bien marquées (cf. carte générale et schémas planche 22). Le massif de l'Ampomby, sur la bordure Ouest de la feuille Mandritsara, à allure de batholite concordant à flancs subverticaux, fait figure d'exception.

A l'extérieur de la zone granitique principale, notamment à l'Ouest, les faciès porphyroïdes forment des massifs sub-circulaires d'allure "intrusive" dans la cartographie régionale, mais cependant toujours dans le détail plus ou moins concordants avec leur encaissant et encore localisés pour la plupart au niveau de cuvettes synclinales ; ce sont, par exemple, les 3 massifs alignés de Marangibato, de l'Androkany et de Befandriana dont la localisation marque la position des structures synclinales principales du sillon de migmatites du Bas Androna, développé entre les branches occidentales de la série graphiteuse.

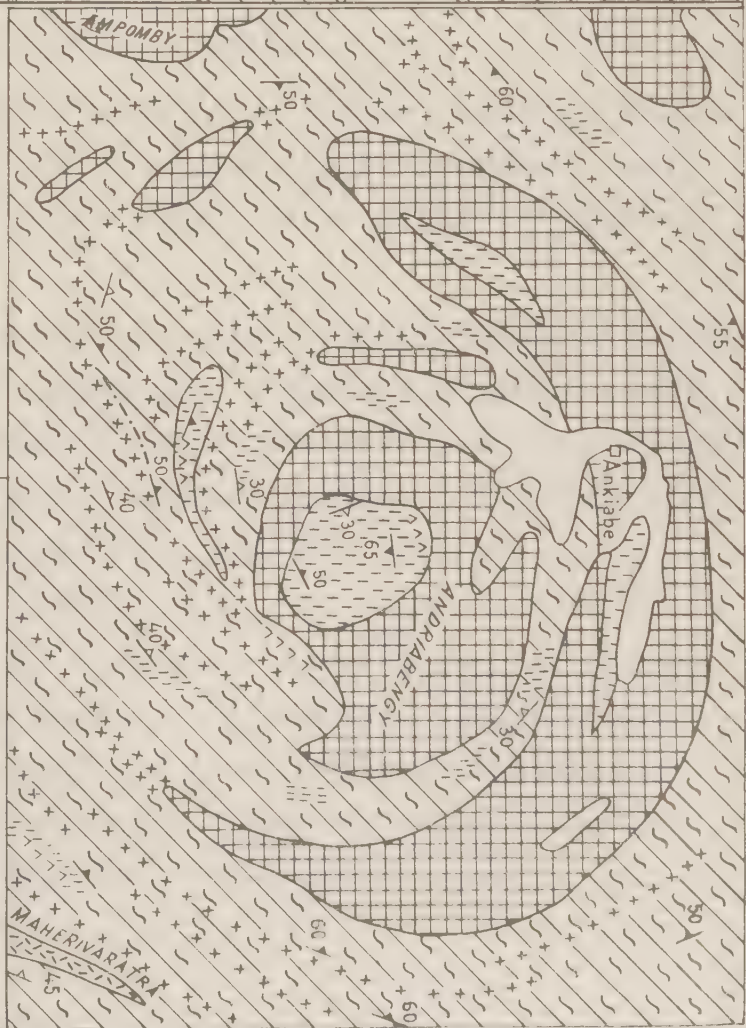
Aux principaux massifs mésocrates est typiquement associée une série de termes variés : syénites calco-alcalines, passant par des granodiorites et diorites à pyroxène, gabbros noritiques, qui seront décrits plus en détail par la suite.

b- Les faciès leucocrates : Ils forment des strates moins épaisses (quelques mètres à 100 ou 200 m au maximum) mais nombreuses et continues sur de longues distances (souvent plusieurs dizaines de km). Leur aire de répartition dépasse en plus largement celle des granites porphyroïdes.

Les granites leucocrates sont aussi représentés par des filons recoupants, de puissance métrique à décamétrique, particulièrement nets à l'extrême Ouest : filons de direction Nord-Est de la région Nord de la Sofia, au Sud d'Antsohihy.

Sur le pourtour des granites de la zone centrale, les mêmes filons existent, mais se distinguent souvent mal des aplites leucocrates attribuables au développement des faciès de diadysite ou d'agmatite.

La cartographie de terrain montre enfin qu'il existe un passage évident, en continuité des strates épaisses de granites à tendance porphyroïde et mésocrate aux strates plus ou moins



- Placages argilo-sableux
- Sillimanite
- Grenat
- Cipolin
- Pyroxénites
- Intercalations gneissiques (Gneiss à pyroxène dominants, amphibolo-pyroxénites)
- Epibolites dominantes
- Migmatites granitoïdes

- Granites stratoïdes
- leucocrates
- Syénite
- Facies basiques associées (Diorites, Gabbros, "Malgachites" et "charnockites" basiques)
- Granites porphyroïdes

GRANITES DE L'ANDRONA

leucocrates (schémas de la planche 22 : partie Sud du synclinal d'Ankiabe Saholy, et Nord du synclinal de Mandritsara).

C- Pétrographie.- 1- Granites - a- Faciès porphyroïdes.- Les termes communs sont mésocrates, à biotite et amphibole. Le feldspath potassique (microcline quadrillé ou perthitique avec mâcle de Carlsbad) en phénocristaux atteignant souvent 2 à 3 cm, domine sur le plagioclase (oligoclase à oligoclase andésine). Biotite et hornblende verte abondantes sont groupées et associées à de gros prismes d'apatite et aux grains de minerai. La myrmékite est fréquente. Les termes grenus équants occupent en général le centre des strates les plus importantes et des massifs. En bordure, les faciès sont toujours plus ou moins nettement orientés conformément à l'encaissant migmatitique, et passent à des termes à structure granoblastique et ocellée.

Les faciès de bordure sont souvent plus riches en feldspath potassique (existence de zones métriques notamment, dans lesquelles la concentration des phénoblastes atteint couramment 60% à vue).

X 4703 (analyse 6 planche 23) représente un type de granite porphyroïde à biotite amphibole, à texture légèrement plane, à gros porphyroblastes centimétriques de feldspath potassique. Microcline perthitique dominant. Oligoclase, quartz, biotite, amphibole, apatite, minerai.
 $p=1 \quad q=4 \quad r=(1) \quad 2 \quad s=3$

X 5130 correspond à un type plus rare riche en amphibole, réalisé en bordure du massif de l'Ampomby. Extérieurement ce faciès grenu massif riche en amphibole rappelle les granodiorites associées aux granites, mais les paramètres donnent une composition alcaline.
 $p=2 \quad q=4 \quad r=1 \quad s=3$

Au microscope : perthite largement dominante, quartz rare, avec myrmékite, apatite, amphibole.

Les massifs porphyroïdes et les strates principales comme celle d'Ankiabe Saholy, contiennent des enclaves caractéristiques sombres à structure grenue fine, soit sous forme d'alignements concordants d'intercalations métriques au maximum, à bordure orientée, soit sous forme d'enclaves décimétriques anguleuses ou arrondies, "emballées" dans les granites. Ces enclaves sont formées presque exclusivement de plagioclase équigrenu (oligoclase basique à andésine) avec un peu d'orthose perthitique, quartz rare, hornblende et biotite dominante, et surtout abondance de fines aiguilles d'apatite dispersées sans orientation privilégiée dans le fond grenu panidiomorphe.

Par leur aspect et par leur structure, elles s'apparentent, semble-t-il, aux types d'enclaves basiques à tendance microgrenue, caractéristiques des granites magmatiques intrusifs. Le faciès type X 4707 (analyse 12 planche 23) donne une composition de diorite : $p=11'$ $q=5$ $r=2$ $s=4$

b- Faciès leucocrates. - Ils correspondent à des termes de teinte rose dominante et à grain généralement fin. Les variations minéralogiques sont nombreuses.

A l'Ouest, les granites interstratifiés dans la série du Bas Androna et les filons métriques à décamétriques recoupants sont des types banaux à biotite rare, massifs ou orientés.

Dans les types massifs, la structure est grenue xénomorphe avec de larges plages de microcline moiré envahissant. Le plagioclase (oligoclase andésine) est séricitisé, la biotite s'altère en chlorite. Les minéraux accessoires communs sont la magnétite et l'apatite. Il existe des types hololeucocrates aplitiques à magnétite seule.

Le nombre, la puissance et l'extension des intercalations leucocrates augmentent à mesure que l'on se rapproche de la zone granitique principale. Dans la région de Mandritsara, le microcline moiré tend à être remplacé par une perthite fusiforme très régulière et très fine. La biotite fortement pléochroïque est toujours présente, et il apparaît parfois des granules d'hypersthène résiduels.

La texture est très variable, massive à orientée, aplitique à largement grenue sur les mêmes bancs.

Dans la région centrale, les faciès communs, qui forment l'ossature du relief, sont essentiellement perthitiques (60 à 70%) et quartzeux avec, interstitiels, plagioclases acides rares (et myrmékite), biotite en paillettes microscopiques, minéral, un peu de séricite.

Les analyses 1 à 5 (planche 23) correspondent à divers faciès de ces granites leucocrates :

- X 5030 analyse 1 : type grenu massif, homogène, commun, à rare biotite interstitielle ;
- X 4382 analyse 3 : type hololeucocrate (essentiellement perthite et quartz), légèrement planaire ;
- X 4446 analyse 4 : type essentiellement perthitique, à rares granules d'hypersthène, texture planaire ;
- X 5031 analyse 2 : type leucocrate franchement orienté à texture leptynitique (quartz lamellaires) caractéristique. Perthite (60% environ), oligoclase avec myrmékite, biotite, minéraux.
A l'analyse, ce granite donne une composition légèrement hypersodique ; ce caractère aberrant par rapport à la composition minéralogique, semble devoir s'expliquer par un dosage défectueux des alcalins (excès K₂O et Na₂O) ;

X 5129 analyse 5 : granite hololeucocrate très quartzeux à plages de microcline quadrillé et perthite associés, oligoclase rare, minerais.

2- Faciès différenciés associés aux granites.- a- Syénites.- Elles sont accidentelles et représentées par des termes grenus leucocrates, à gros porphyroblastes de microcline perthitique, avec quelques inclusions de quartz et d'oligoclase acide, hornblende et biotite interstitielles.

Le niveau le plus remarquable ceinture la dépression alluviale parsemée de pointements dioritiques et de granites à amphibole de Kalandy. Un autre couronne la crête du Maherivaratra au Nord-Ouest de Kalandy.

Les syénites forment encore, à la limite de la feuille Mandritsara, la bordure Nord-Est du massif de granites monzonitiques du Marangibato, surplombant ici au Nord-Ouest la plaine alluviale d'Anandribato accolée au massif granitique, et parsemée, comme celle de Kalandy, de nombreux pointements de diorite, granodiorites, partiellement orthogneissifiés et à "faciès charnockitique" fréquent (J.JOO' 1964).

L'échantillon de syénite type X 5132 (analyse 8 planche 23) donne une composition calco-alkaline avec : $p=1$ $q=5$
 $r=(1)$ 2 $s=3$.

b- Monzonites, granodiorites et diorites.- Leur cartographie est difficile. En effet, ces termes semi-basiques, à dominance plagioclasique, sont très altérables et apparaissent de ce fait généralement au milieu des reliefs granitiques, en affleurements isolés ou en blocs parsemant de larges aires dépressives fortement latéritisées ou à couverture superficielle d'alluvions fluviatiles récentes (sables, argiles) ou de pédiments latéritiques remaniés.

Ils paraissent ainsi constituer le substratum de la plaine d'Andilana, dans la partie Nord du synclinal de Mandritsara, et sans doute, par analogie, une bonne partie de celui des plaines alluviales développées sur les parties Ouest et Sud du même synclinal (cf. schéma planche 22). A l'Ouest, de nombreux pointements identiques parsèment les plaines de Kalandy et d'Anandri-bato. Au Nord, ils existent également dans les zones dépressives séparant les principales strates des unités "synclinales" granitiques : Ankiabe Saholy et Saloa notamment.

Les termes communs, dans le synclinal de Mandritsara et au Nord, correspondent à des compositions de monzonites et de diorites grenues homogènes, à grain moyen, à faciès "malgachitique" ou "charnockitique" quasi constant (teinte vert sombre soutenue sur l'échantillon frais, jaune cassonade à l'altération superficielle). Au microscope, ces roches montrent l'association en proportion variable de perthite, oligoclase basique ou andésine avec myrmékite, parfois un peu de quartz, biotite, augite, hypersthène, hornblende brun-verdâtre, apatite en bâtonnets très abondants.

X 5032 (analyse 14 planche 23) représente un type de monzonite "charnockitique" à perthite (vert sombre) abondante, quartz interstitiel, oligoclase basique, myrmékite, hypersthène et hornblende brune associés, rare biotite, apatite aciculaire très abondante, recueilli à l'Ouest de Mandritsara ;

X 4565 (analyse 13 planche 23) : un type dioritique commun légèrement différent à augite, hypersthène, biotite, recueilli dans la région d'Ankiabe Saholy.

Dans la plaine d'Andilana, les diorites grenues sont localement recoupées par des filonnets de granites roses leucocra-

tes et s'enrichissent au contact en biotite et en quartz (parfois bleuté), tout en conservant leur teinte "charnockitique".

A l'Ouest, à proximité des migmatites, les diorites grenues font place à des faciès d'orthogneiss dioritiques, fortement orientés et riches en biotite. Dans la plaine de Kalandy, les pointements dioritiques sont également fortement orientés.

Dans la plaine d'Anandribato, J.JOO' a décrit des résidus dioritiques grenus à andésine dominante, microcline et quartz rares, hypersthène, diopside, biotite, apatite et oxydes de fer. La biotite provient de la transformation des pyroxènes. Ces résidus grenus sont englobés dans une masse d'orthogneiss orientés, concordants avec les migmatites encaissantes, à quartz, andésine, microcline, biotite, hornblende verte, sphène, apatite et minerais (A.2020, p.23, 1965).

c- Gabbros.- Dans la plaine d'Andilana, existent des différenciations gabbroïques manifestement génétiquement liées aux diorites, granodiorites et monzonites dominantes. Le type en est représenté par l'échantillon X 5133 : p=II' q=5 r=4 s=4' (analyse 15 planche 23).

La roche est grenue, à grain moyen, homogène, de couleur verdâtre soutenue. Au microscope, elle montre : hypersthène, augite, biotite rare, minéral, apatite abondante, quelques quartz interstitiels, fond de plagioclases dominants An50.

Dans les zones alluviales dépressives du Nord et de l'Ouest du synclinal de Mandritsara, attribuables du moins en partie, par analogie, à un substratum dioritique, on rencontre parfois des épandages de blocs décimétriques de pyroxénites grenues massives (à hypersthène, augite, plagioclase basique interstitiel) qui semblent correspondre à des différenciations mélano-crates accidentelles.

Dans les mêmes zones, à l'Ouest d'Antanandava (en X=1134, Y=655,8), nous avons également récolté des échantillons de gabbros à olivine, hypersthène et augite, labrador et amas de biotite, à structure doléritique nette. Ce faciès particulier se présente sous forme de blocs métriques englobés dans des latérites qui forment une étroite crête émergeant des alluvions avec une direction générale apparemment concordante avec la schistosité régionale. La liaison génétique de ce faciès gabbroïque à structure doléritique avec les granites et diorites grenues ou orthogneissifiées n'est cependant pas établie ; il peut s'agir d'un faciès filonien beaucoup plus récent.

Le rapprochement est peut-être à faire néanmoins avec les enclaves gabbro-doléritiques signalées par M.DONNOT (CRSG 1963 p.81) passant à des "charnockites" gabbroïques et dioritiques, dans la structure synclinale à granites monzonitiques et charnockites stratoïdes associées d'Antsakabary, sur la bordure Nord-Est du massif granitique de l'Androna (situation carte hors-texte).

La liaison des granites et des gabbros grenus est par contre nette, dans le Bas Androna, dans les deux massifs d'Itrobeka et de Befandriana, décrits respectivement par J.JOO' et J.A. RASOAMAHENINA.

Dans le massif de l'Itrobeka, les faciès grenus à gros grain occupent le centre d'une zone gabbroïque importante, ceinturée, sauf au Sud, par les granites porphyroïdes. Ce sont des roches à labrador dominant, hypersthène, hornblende verte, biotite, apatite, oxydes de fer. La transformation de l'hypersthène en hornblende est nette. En s'éloignant du centre, on passe à des termes de plus en plus transformés auxquels s'associent des passées à andésine, hypersthène, augite, scapolite, biotite, apatite, sphène, oxydes de fer. J.JOO' attribue la formation de scapolite dans ces faciès à l'autométasomatose du plagioclase.

Au contact du granite porphyroïde, au Nord, les gabbros sont modifiés, d'après J.JOO', par une métasomatose potassique et siliceuse plus ou moins intense "qui fait passer à des termes porphyroclastiques à gros cristaux résiduels de labrador entourés par une mésostase néoformée d'oligoclase andésine et biotite". L'hypersthène résiduel est souvent presque entièrement décomposé en oxydes de fer et biotite. Il apparaît un peu de microcline, de quartz interstitiel et de myrmékite. Les minéraux accessoires sont : sphène, apatite et minéral.

Dans le massif de Befandriana, des gabbros noritiques affleurent sur la bordure Sud du massif granitique. Ce sont des gabbros largement grenus à labrador violacé, biotite, hypersthène abondant et augite rare.

Au contact du granite porphyroïde, à l'Est, on passe "à des diorites quartziques riches en amphibole, biotite et pyroxène", tandis qu'à l'Ouest "les mêmes roches passent à des amphibolites feldspathiques" (J.A.RASOAMAHENINA, A.2021 p.19).

D- Chimisme comparé des différents termes.- Le report sur le même diagramme KCN (schéma I planche 24) des faciès acides et basiques associés dans les complexes granitiques semble bien mettre en relief la parenté indéniable existant entre les différents termes : faciès granitiques leucocrates alcalins à monzonitiques, méso-crates, syénites alcalines, monzonites, granodiorites et diorites.

Le faciès noritique 15, bien que génétiquement lié sur le terrain aux types 14 et 13, se situe à l'écart. Mais il faut tenir compte de ce que l'échantillonnage réalisé lors des levés de reconnaissance n'était pas, pour les termes basiques, systématique : nous nous sommes surtout intéressés en effet, à l'époque, aux faciès "charnockitiques" intermédiaires d'identification douteuse sur le terrain. La réalisation d'un échantillonnage vraiment

	Granites divers							Syénite
	1	2	3	4	5	6	7	8
N° échantillon	X.5030	X.5031	X.4382	X.4446	X.5129	X.4703	X.4551	X.5132
recueilli par	G.HOTTIN	G.HOTTIN	G.HOTTIN	G.HOTTIN	G.HOTTIN	G.HOTTIN	G.HOTTIN	G.HOTTIN
Analyste	J.SERANGE	RZT	CRPG	CRPG	CRPG	J.SERANGE	CRPG	J.SERANGE
SiO ₂	72,40	71,60	75,20	72,00	75,50	69,70	65,20	62,30
Al ₂ O ₃	12,0	12,50	13,75	13,90	12,10	13,85	15,10	19,30
Fe ₂ O ₃ (Fe ₂ O ₃ ou total)	2,95	1,0	0,99	1,98	2,54	2,10	5,77	1,05
FeO	0,85	0,90				1,50		1,30
MnO					0,03	0,05	0,10	0,05
MgO	0,35	0,70				1,0	0,89	0,80
CaO	1,25	1,0	0,79	1,29	1,24	1,70	2,24	1,70
Na ₂ O	3,60	4,40	3,78	3,77	2,99	3,70	3,83	4,70
K ₂ O	5,0	6,50	5,08	5,51	5,18	5,20	5,77	7,85
TiO ₂	0,25	0,30	0,05	0,44	0,30	0,55	0,99	0,70
P ₂ O ₅	0,10					0,20		0,10
H ₂ O+	0,65	0,30	0,39	0,74	0,35	0,70	0,41	0,30
H ₂ O-	0,10	0,05	0,39			0,0		0,05
Total	99,50	99,25	100,03	99,66	100,23	100,25	100,30	100,20

J.SERANGE: Labo CLERMONT

CRPG : Nancy

RZT : Mr. RAZAFINDRATANDRA - Mines Tananarive.

Granites de l'ANDRONA et
roches associées

23

	Monzonite		Enclaves dans granites		Diorites et Gabbros			
	9	10	11	12	13	14	15	16
N° échantillon	X.4560	X.5130	X.4539	X.4704	X.4565	X.5032	X.5133	X.5119
recueilli par	G.HOTTIN	G.HOTTIN	G.HOTTIN	G.HOTTIN	G.HOTTIN	G.HOTTIN	G.HOTTIN	G.HOTTIN
Analyste	CRPG	RZT	CRPG	J.SERANGE	CRPG	J.SERANGE	RZT	CRPG
SiO ₂	71,30	61,30	52,20	52,10	53,80	54,80	48,80	50,80
Al ₂ O ₃	15,75	15,00	14,60	13,15	14,90	17,10	18,10	14,70
Fe ₂ O ₃ (Fe ₂ O ₃ ou total)	2,99	1,10	11,13	8,55	12,54	2,20	0	10,80
FeO		4,30		5,70		5,65	8,90	
MnO	0,08	0,05	0,17	0,10	0,20	0,05		0,17
MgO	0,45	1,60	4,62	2,75	2,49	2,70	5,50	6,84
CaO	1,79	3,00	6,07	5,60	5,72	5,15	8,10	7,53
Na ₂ O	2,84	4,60	3,48	4,30	3,73	4,0	2,50	3,27
K ₂ O	2,84	5,60	3,98	3,20	3,53	3,85	1,10	3,37
TiO ₂	0,74	1,80	2,98	2,0	2,34	2,60	4,70	2,33
P ₂ O ₅		0,70		1,55		1,25		
H ₂ O+	0,32	0,90	0,54	0,60	0,45	0,45	1,10	0,84
H ₂ O-		0,20		0,10		0,05	0,10	
Total	99,10	100,15	99,77	99,70	99,70	99,90	98,90	100,65

4. The fourth part of the document discusses the various methods used to collect and analyze financial data, including the use of spreadsheets, databases, and specialized accounting software. It also discusses the importance of maintaining a clear and concise record of all transactions and the role of the accounting department in ensuring the integrity of the financial data.

5. The fifth part of the document discusses the various methods used to collect and analyze financial data, including the use of spreadsheets, databases, and specialized accounting software. It also discusses the importance of maintaining a clear and concise record of all transactions and the role of the accounting department in ensuring the integrity of the financial data.

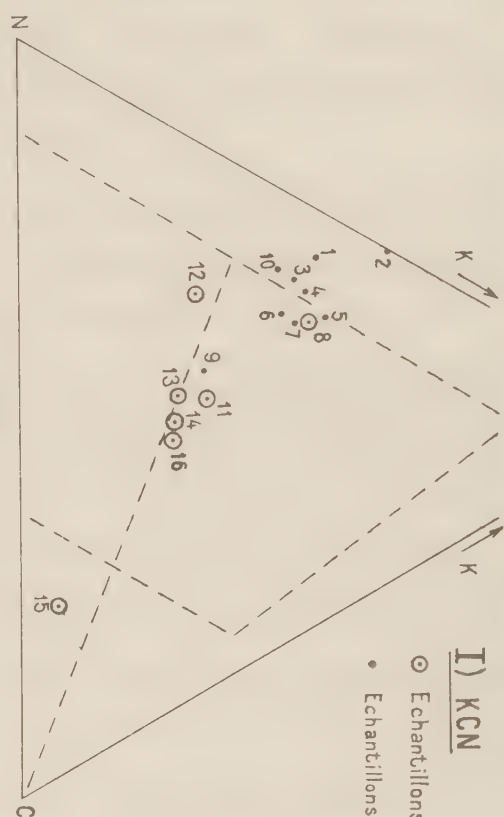
6. The sixth part of the document discusses the various methods used to collect and analyze financial data, including the use of spreadsheets, databases, and specialized accounting software. It also discusses the importance of maintaining a clear and concise record of all transactions and the role of the accounting department in ensuring the integrity of the financial data.

7. The seventh part of the document discusses the various methods used to collect and analyze financial data, including the use of spreadsheets, databases, and specialized accounting software. It also discusses the importance of maintaining a clear and concise record of all transactions and the role of the accounting department in ensuring the integrity of the financial data.

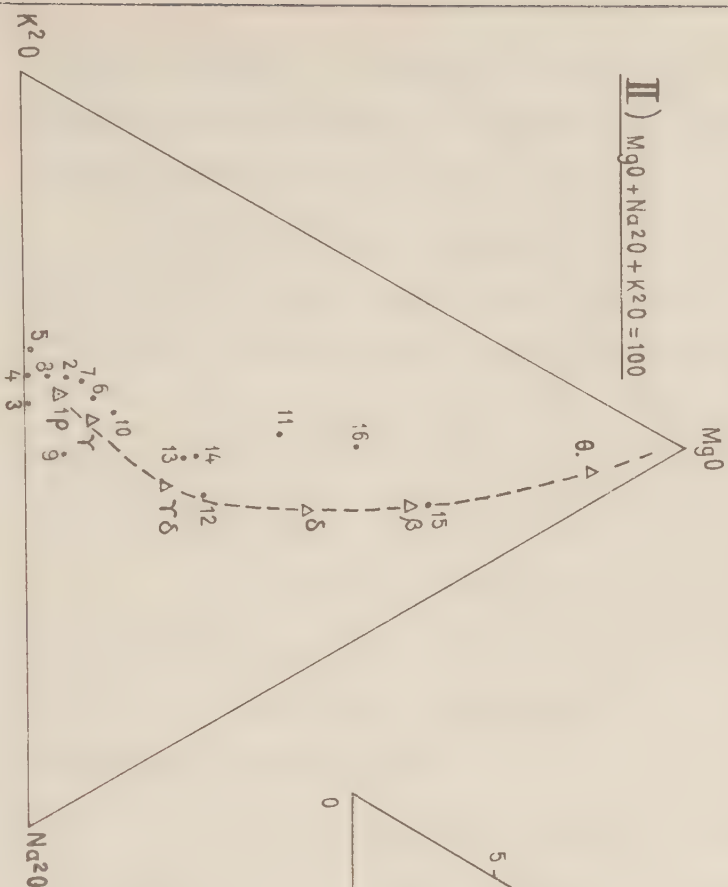
8. The eighth part of the document discusses the various methods used to collect and analyze financial data, including the use of spreadsheets, databases, and specialized accounting software. It also discusses the importance of maintaining a clear and concise record of all transactions and the role of the accounting department in ensuring the integrity of the financial data.

9. The ninth part of the document discusses the various methods used to collect and analyze financial data, including the use of spreadsheets, databases, and specialized accounting software. It also discusses the importance of maintaining a clear and concise record of all transactions and the role of the accounting department in ensuring the integrity of the financial data.

10. The tenth part of the document discusses the various methods used to collect and analyze financial data, including the use of spreadsheets, databases, and specialized accounting software. It also discusses the importance of maintaining a clear and concise record of all transactions and the role of the accounting department in ensuring the integrity of the financial data.



II) $MgO + Na_2O + K_2O = 100$



III)

$$0,73 \text{ SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{TiO}_2) = 73$$



θ Gabbro
 δ Diorites
 γ S Granodiorites
 γ Granites
 P Rhyolites
 Domaine des roches
 ignées basiques.

GRANITES DE
L'ANDRONA

représentatif conduirait à coup sûr, avec les faciès négligés de diorites franches et de gabbros, à meubler la zone intermédiaire entre le groupement 13-14 et le point 15.

Les autres représentations partielles (schémas 2 et III planche 24) paraissent bien également traduire l'existence d'une évolution continue entre les différents termes.

Tout ceci paraît bien s'accorder avec l'hypothèse d'une origine commune à partir d'une même lignée magmatique différenciée, hypothèse que confirmeraient les observations de terrain :

- passage en continuité des strates leucocrates à tendance alcaline aux strates et massifs mésocrates calco-alcalins ;
- passage en continuité également des termes basiques aux termes semi-basiques ;
- étroite association dans les massifs granitiques les plus importants, de ces termes basiques et semi-basiques aux granites porphyroïdes mésocrates.

E- Conclusions. - Les roches granitiques, semi-basiques et basiques associées qui constituent les massifs granitiques complexes de l'Androna, semblent pouvoir s'interpréter de la façon la plus simple possible, comme le résultat de la mise en place de venues magmatiques différenciées dans la série terminale de l'Androna.

Le caractère stratoïde de ces venues, dans la région granitisée centrale, implique pour le moins l'idée d'une mise en place synorogène et contemporaine de la dernière phase orogénique. Les massifs occidentaux les plus externes, subcirculaires, semblent à première vue intrusifs, à l'échelle de la cartographie régionale, mais en général, ils montrent comme leurs homologues stratoïdes de la zone interne des bordures orientées parfaitement concordantes dans le détail avec leur encaissant migmatitique.

Dans la série terminale de l'Androna, l'intensité maximale du métamorphisme (se traduisant par l'apparition dans les ectinites résiduelles de paragenèses du granulite hornblende faciès) est atteinte sur le pourtour de la zone granitique principale.

Dans ce secteur, l'orthogneissification de bordure des massifs basiques associés s'accompagne de transformations minéralogiques rétro-morphiques : enrichissement en biotite et amphibole très pléochroïques (et acquisition du faciès "malgachitique" ou "charnockitique"?). Les strates granitiques leucocrates associées aux massifs mésocrates à biotite amphibole et microcline moiré correspondent en plus le plus souvent à des termes essentiellement perthitiques à quartz lenticulaires typiques, soit à des faciès en accord avec les paragenèses de leur encaissant.

On peut donc penser à une mise en place synmétamorphe en accord avec la zonéographie actuelle, c'est-à-dire contemporaine de la dernière phase orogénique et métamorphique ayant affecté la série terminale de l'Androna, en supposant que la mise en place et la cristallisation des termes basiques aux termes granitiques (qui recoupent ou modifient les premiers) a pu être assez échelonnée dans le temps pour permettre la rétro-morphose partielle des faciès noritiques et semi-basiques, la cristallisation des strates leucocrates conformément à la zonéographie de leur encaissant (base du faciès amphibolite ou localement granulite à hornblende) et au contraire une cristallisation plus lente et donc plus tardive (dans un faciès métamorphique moins élevé) des principaux massifs porphyroïdes. Les injections magmatiques pouvant contribuer, d'autre part, à expliquer l'élévation préférentielle du degré métamorphique régional sur le pourtour de la zone granitisée ?

On peut cependant tout aussi bien envisager que la mise en place des granites n'ait aucun rapport avec la zonéographie actuelle. Les granites porphyroïdes et les noyaux gabbroïques seraient, les uns et les autres, des résidus ayant échappé aux réajustements métamorphiques de leurs épontes et des strates externes associées.

L'augmentation générale du degré métamorphique actuel dans ce secteur de la série terminale de l'Androna pourrait ne pas être liée directement à la mise en place des complexes granitiques différenciés. On pourrait par exemple expliquer cette coïncidence par "l'effet de socle" dû à la présence d'un "noyau" plus ancien sur lequel viendraient se superposer la série graphiteuse et la série terminale de l'Androna, injectée ici antérieurement de granites. Un tel "noyau" correspondant à l'affleurement, comme nous l'avons suggéré dans l'introduction de ce chapitre : la partie Nord-Ouest du "massif granitique de l'Androna".

Tout ceci revient à dire que l'âge de la mise en place du complexe granitique de l'Androna est pour l'instant parfaitement indéterminé.

On dispose bien d'une série de mesures effectuées par L.DELBOS sur les biotites de divers granites par la méthode au strontium conventionnel, mesures dont la moyenne se situe autour de 500 MA, mais qui ne font qu'indiquer que cette région, comme la totalité de Madagascar, a été intéressée par le cycle, ou le rajeunissement, de 500 MA.

Les granites de l'Androna, bien différenciés et à contours francs, situés dans une zone de haut degré métamorphique, présentent sur le terrain, un caractère apparent de jeunesse, comparés par exemple aux granites cataclastiques et saussuritisés de l'Antongil. On pourrait être aussi tenté d'attribuer effectivement leur mise en place à l'orogénèse de 500 MA.

Mais, d'un autre côté, on ne peut manquer à notre sens d'établir un parallèle entre ces massifs granitiques stratoïdes à "charnockites" dioritiques accessoires de la série terminale de l'Androna et le "massif" charnockitique dioritique à coeur gabbroïque de Manakambahiny par exemple, situé lui aussi dans la série terminale du Beforona Alaotra, équivalente de celle de l'Androna.

Or, les premiers résultats des mesures en cours sur roches totales par la méthode au strontium (isochrones), mesures effectuées par Mme VACHETTE au Laboratoire de Géochronologie de Clermont-Ferrand sur des échantillons recueillis par A. RAZAFINI-PARANY, indiqueraient un âge possible pour ces charnockites de Manakambahiny de 2700 MA, c'est-à-dire contemporain de l'orogénèse majeure de "2600 MA".

Le schéma d'un vaste complexe de roches magmatiques, basiques et acides, contemporain de l'orogénèse majeure de 2600 MA, et localisé au niveau du sillon central et terminal Alaotra-Androna, pourrait ainsi être envisagé.

Nous pourrions tenter ici une récapitulation des arguments pétrographiques et structuraux qui viendraient étayer le schéma de la reconstitution pétrogénétique des successions magmatiques à l'intérieur d'un vaste complexe à dominance basique intéressant l'ensemble du sillon "eugéosynclinal" de l'Alaotra-Androna.

Nous préférons cependant nous en tenir à l'énoncé d'une simple relation que la réalisation du programme de géochronologie actuellement en cours au Laboratoire de Clermont-Ferrand, sur les roches de l'Alaotra et de l'Androna, permettra peut-être de confirmer.

Du point de vue pratique, on peut noter que la confirmation géochronologique de l'appartenance des granites différenciés de l'Androna au même complexe magmatique que les formations basiques de l'Alaotra (à minéralisation nickélifère accessoire notamment), pourrait inciter à envisager la possibilité d'existence, par analogie, au niveau des complexes les plus différenciés de l'Androna, des types de minéralisations classiquement liés à de telles suites magmatiques avec granites, grano-syéénites, monzonites, diorites quartziques et norites.

Les sédiments du bassin lacustre de l'Alaotra sont rapportés au Néogène ; les grès et argiles fluviolacustres de la région de Matsoandakana leur sont peut-être contemporains.

Les alluvions fluviatiles récentes ne sont bien développées que dans l'Androna. Sur le versant oriental, très accidenté, elles ne forment que des poches dispersées de peu d'extension. Les plaines argileuses et marécageuses côtières sont par contre importantes, notamment entre Tamatave et le Nord de Soanierana (pointe à Larrée) où elles se développent à l'abri d'un cordon sableux plus ou moins continu, large en moyenne de 1 à 3 km. Sur la côte orientale de la presqu'île Masoala, un massif corallien quasi continu s'ajoute aux alluvions et sables côtiers.

I- FORMATIONS EFFUSIVES ET INTRUSIVES.- A- Coulées des tampoketsa de l'Ouest.- Elles s'intercalent dans les formations sédimentaires argilo-gréseuses avec lesquelles elles forment, dans notre secteur, la couverture du tampoketsa d'Analamaitso : vaste table rectangulaire de 1200 km² de superficie culminant aux environs de 1300 m et que limite au Sud le bassin lacustre de l'Alaotra (750 m), à l'Ouest la dépression de la Bemarivo (entre 900 et 1000 m), et au Nord la région des bas plateaux de l'Androna (3 à 400 m au Nord).

L'ensemble coulées-sédiments affleure bien sur les bordures Nord et Nord-Ouest du tampoketsa, surplombant d'une centaine de mètres en moyenne un replat latéritique cristallin de 6 à 800 m de largeur moyenne, mollement ondulé, témoin d'une surface cristalline imparfaitement pénéplanée, dégagée par l'érosion extrêmement active dans ce secteur du versant Mozambique.

Les coulées, discontinues et de puissance très variable (métrique à décamétrique), sont constituées de basaltes et de sakalavites à structure doléritique fine, augite-pigeonite fréquente, pléonaste, minerais, parfois bulleux et à nombreuses géodes quartzeuses (calcédoine, améthyste) et de zéolites. Elles sont exactement semblables aux coulées crétacées du bassin de Majunga, à l'Ouest, qui reposent sur des grès post-cénomaniens bien datés (à Antsatramahavelona, au Nord d'Analalava) et sont recouvertes par le Turonien fossilifère d'Antankiloky (Sud d'Analalava).

Sur la partie sommitale du tampoketsa, mêlés aux sables blancs provenant de la désagrégation des grès supérieurs, nous avons identifié la présence de blocs de rhyolites altérées (coulées ou filons ?). On retrouverait donc ici la succession anormale basaltes-sakalavites-rhyolites signalée dans les coulées crétacées de l'Ouest.

Les mêmes basaltes et sédiments gréso-argileux forment en plus, au Sud-Ouest de l'Analamaitso, la couverture des tampoketsa du Beveromay et du Kamoro, l'ensemble dessinant sur le socle cristallin un alignement concentrique à celui des sédiments isaliens à tertiaires, du bassin de Majunga. La question de l'assimilation des sédiments des tampoketsa aux grès et argiles de l'Isalo, lithologiquement semblables, a été posée. Mais cette conception est très improbable : l'Isalo ne contient jamais d'intercalations basaltiques.

B- Coulées de la côte orientale (presqu'île Masoala-Antalaha).

Sur la côte orientale de la presqu'île Masoala, les coulées correspondent à deux zones d'affleurements principales, en forme de croissant, de 30 à 40 km d'extension pour une dizaine de km de largeur maximale.

La zone Nord, au Sud d'A^{hi}-tralana (du Cap Est à Ra-tsianarana) montre en bordure de mer des basaltes augitiques, à structure doléritique fine, communs, et quelques types scoriacés et bulleux avec de nombreuses géodes d'opale ou de calcédoine, parfois colorées en vert par des traces de malachite.. Certains sont riches en zéolites (notamment mésotype en amas de fibres soyeuses).

A l'intérieur, les buttes basaltiques latéritisées, à couverture forestière intacte atteignent une altitude de 60 à 80 mètres. Elles montrent fréquemment une couverture superficielle de sables blancs de plusieurs mètres, jusqu'au niveau +30.

Les coulées de la zone Sud (entre Ampanavoana et le Cap Masoala) sont recouvertes sur le littoral, par de larges plaines sableuses et marécageuses, infertiles. Les buttes latéritisées à l'intérieur sont au contraire défrichées et supportent de belles plantations (girofle, vanille, café) ou des pâturages. Les coulées prismées affleurent largement en bord de mer. Elles sont identiques à celles du Cap Est. Au Cap Masoala et au Cap Tanjondango (10 km plus au Nord), on peut voir le passage en continuité d'un dyke labradoritique à débit polygonal en bordure (fissures de retrait délimitant des masses métriques à cristallisation plus large au centre qu'en bordure) à une coulée prismée à l'Est, qui conserve la même structure doléritique fine, et encore surmontée localement d'un horizon bulleux et scoriacé. Cette observation paraît démontrer la nature fissurale des émissions, en liaison probable avec les dykes "doléritiques" de la zone interne, et en accord avec l'hypothèse avancée notamment par A.LACROIX et A. LENOBLE.

La zone du Cap Baldrisy, à l'extrémité Sud-Est de la presqu'île, est surtout formée de coulées de basaltes andésitiques associés à des filons qui semblent à l'Est recouper les

basaltes. Il existe aussi des filons dacitiques qui paraissent postérieurs aux andésites. On aurait donc ici, comme dans l'Ouest, l'amorce d'une succession termes basiques-termes acides avec basaltes et labradorites, puis andésites à pyroxène et dacites.

Au Nord de la presqu'île Masoala, les coulées basaltiques réapparaissent au delà des alluvions et des sables de la plaine d'Ambohitralanana et se poursuivent en s'élargissant progressivement jusqu'au Nord d'Antalaha où elles se fondent dans l'ensemble rhyolites-basaltes côtiers bien développé entre Sambava et Vohémar, et décrit successivement par A. LACROIX et P.BRENON. La série basaltique correspond ici à un ensemble monotone oscillant entre des sakalavites et des basaltes doléritiques à labrador et augite, généralement sans olivine. Les rhyolites potassiques se rapportent à des rhyolitoïdes. Elles prennent localement une grande importance et, en se basant essentiellement sur des arguments topographiques apparents (buttes de rhyolites surplombant les basaltes) A. LACROIX admettait leur superposition aux basaltes. Cependant en 1956, P.BRENON a montré l'existence à la base des coulées basaltiques, en même temps que des intercalations de sédiments (avec une faunule à Acteon qui confirme l'âge méso à néocrétacé de l'ensemble), d'un conglomérat à galets de socle et de rhyolites. Les masses rhyolitiques principales seraient donc ici, antérieures aux coulées basaltiques.

C- Dykes "doléritiques" du versant oriental.- De très nombreux filons doléritiques recoupent le socle cristallin du versant oriental. Ils sont très nombreux à proximité de la côte et se raréfient progressivement vers l'Ouest. Ils disparaissent totalement au niveau des hauts plateaux de la falaise, c'est-à-dire à une distance variant de 50 à 80 km de la côte. Ces filons, d'épaisseur très variable, métrique à

décamétrique en général, avec des épaisissements d'ordre hectométrique, forment des alignements que l'on peut suivre ici sur près de 400 km.

Les principaux alignements sont reportés sur la carte générale hors texte. Le schéma de la planche 25 met d'autre part en relief leurs directions dominantes. La direction côte Est (N 15 à N 30° Est) est pratiquement seule présente au Sud (entre Tamatave et Soanierana). Elle domine encore ensuite jusqu'au niveau de Mananara dans la zone côtière, et se retrouve accessoirement dans les 2/3 Ouest de la presqu'île Masoala, au delà de la baie d'Antongil.

Au niveau de Soanierana-Ivongo apparaît dans la zone interne une importante virgation qui donne naissance à un faisceau sub-méridien, qui, passant progressivement vers le Nord à N 10° N 20° Ouest, devient parallèle au niveau du Mahakiry à la direction Nord-Nord-Ouest du fossé récent Antongil Sambirano (situation planche 25).

Dans la zone interne de Mananara, une direction Nord 80° Ouest se superpose aux directions Nord-Est et subméridiennes. Cette direction Nord 80° Ouest est ensuite dominante sur certains secteurs du pourtour de la baie d'Antongil (région Sud de Rantabe et Nord-Ouest de la presqu'île Masoala), associée à la direction Nord 20° Ouest. A l'Est de la baie les 2/3 orientaux de la presqu'île Masoala sont littéralement lardés de dykes groupés en faisceaux légèrement divergents : Nord-Est, Nord-Sud, Nord-Ouest ; la direction subméridienne paraissant le plus souvent largement dominante. Sur le pourtour de la baie d'Antongil la localisation de "dolérites transformées" sur les directions différentes des dolérites crétacées intactes N 80° Ouest et N 20° Ouest, permet d'autre part de montrer que ces directions sont certainement plus anciennes que les directions Nord-Est (et sans doute Nord-Sud) crétacées.

Péetrographiquement, l'ensemble "doléritique crétaé" correspond à une suite de termes gabbroïques (à labrador, pigeonite et augite, hypersthène et accessoirement olivine) à dioritiques souvent quartzifères (oligoclase, andésine et orthose, pigeonite, augite, quartz, hornblende et bronzite accessoires) dominants, avec des différenciations tonalitiques et de rares filons de microgranites et de rhyolites.

L'assimilation de l'ensemble des dolérites orientales aux basaltes côtiers datés du Crétaé moyen se justifie ainsi en définitive par une parenté péetrographique indéniable, comme par l'observation locale d'un passage réel des dykes aux coulées côtières (presqu'île Masoala). De plus, comme le fait observer H.BESAIRIE, on peut constater que les dykes doléritiques de la côte orientale ne recoupent jamais le Crétaé supérieur marin qui affleure dans la région côtière de Mahanoro au Sud de Tamatave.

Enfin, il faut signaler que le microgranite de Vavate-nina dont l'analyse est donnée ci-dessus, est postérieur aux microgabbros doléritiques dont il contient des enclaves. On aurait donc ici aussi une succession anormale au moins locale des termes basiques aux termes acides.

D- Massif syénitique de l'Anjanaharibe. - Ce massif forme une intrusion subcirculaire d'environ 5 km de diamètre qui recoupe les formations paragneissiques de la série de Sahantaha, au Nord-Ouest de Maroantsetra.

La majeure partie est constituée par une syénite à gros grain (cristaux centimétriques) de teinte vert sombre. Au microscope, elle montre une structure à gros cristaux d'orthose perthitique, à inclusions d'oligoclase, légèrement imbriqués les uns dans les autres et bordés d'une mince frange plagioclasique. Les ferromagnésiens rares sont représentés par une hornblende brune, et quelques petits cristaux résiduels d'augite titanifère.

Le massif est bordé au Sud et à l'Ouest par un arc de syénite quartzique moyennement grenue, de teinte claire, qui domine de 50 à 100 m la zone centrale syénitique et culmine à 1.150 m, sur la bordure Sud, au signal d'Anjanaharibe. Le feldspath est toujours une orthose perthitique avec des inclusions et une frange plagioclasique réduite. Le ferromagnésien est la hornblende.

Ce massif n'est pas daté mais les syénites sont exactement semblables d'aspect et de composition, aux syénites orthosiques et orthosialbitiques à hornblende, accessoirement quartzitiques (Nordmarkites et laurvikites notamment) des massifs alcalins subvolcaniques de la presque île d'Ampasindava (situation planche 25). Ces massifs recoupent les sédiments liasiques mais l'âge tertiaire (oligocène) du principal d'entre eux (massif de Manongarivo) a pu être démontré récemment (L.DELBOS 1965) par une mesure Rubidium-Strontium de la biotite d'une syénite du Manongarivo qui fournit un âge de 48 MA.

De nombreux filons de microsyénite (micronordmarkites) et de trachytes alcalins existent dans l'environnement immédiat du massif d'Anjanaharibe. Nous avons également retrouvé des faciès identiques (et identiques à ceux qui accompagnent les intrusions et le subvolcanisme tertiaire de la presque île d'Ampasindava, sous forme de blocs et de petits filons, à l'extrémité Sud-Est de la presque île Masoala, ce qui apporterait une preuve supplémentaire de la réalité de l'existence et de l'ancienneté de la zone de fracture Sambirano-Antongil.

E- Pitons trachyphonolitiques isolés.- Les pitons phonolitiques dont les alignements jalonnent sur les hauts plateaux de l'Ankaizina, les fractures du fossé Sambirano-Antongil

jusqu'au niveau de Matsoandakana (cf. schéma général planche 25) ne sont pas connus sur le pourtour de la baie d'Antongil. M.BERTUCAT en a retrouvé par contre au Nord du massif granitique d'Antongil dans les micaschistes de la zone interne d'Antalaha.

Il est possible qu'ils existent dans la zone granitique où, à la maille réalisée, des intrusions d'aussi petite taille, à moins de se situer exactement sur l'itinéraire levé, passent forcément inaperçues, ne se différenciant pas, topographiquement, sous la couverture forestière uniforme de leur contexte de roches dures : granites "armés" de dykes doléritiques. Ces pitons sont liés à la phase primitive (trachytes, phonolites, tufs) du volcanisme alcalin tertiaire de l'Ankaizina, autour duquel leur répartition géographique préférentielle est évidente.

F- Massif volcanique d'Ankasimbelo. - L'existence d'un complexe volcanique important dans la région d'Ankasimbelo (entre Maroantsetra et Andapa) a été soupçonnée par L.LAPLAINE en 1954, à partir de galets recueillis sur les bordures Nord et Ouest de ce massif forestier, resté à l'époque totalement impénétré. C'est seulement avec l'établissement de la couverture photoaérienne de la région et après que M.DONNOT (1963) et M.BERTUCAT (1964) en eurent reconnu les limites à l'Ouest et à l'Est, que les contours de ce massif ont été définis. Il s'allonge sur environ 40 km du Nord au Sud avec une largeur maximale de 25 à 30 km au Nord (région Sud d'Andapa) et minimale au Sud : 10 à 15 km à proximité de la limite du massif syénitique intrusif d'Anjanaharibe. La photogéologie montre sur la bordure Ouest, une série d'appareils (pitons, petits lacs de cratère) alignés sur un axe Nord-Nord-Ouest qui paraît se situer ainsi exactement dans le prolongement des alignements de l'Ankaizina (au Nord) et dans la direction générale du fossé de la baie d'Antongil, au Sud.

Ce massif n'a encore jamais été traversé. Il est supposé pour l'essentiel constitué de basaltes identiques à ceux observés en bordure : coulées à débit prismatique, empruntant les vallées actuelles, à surface scoriacée et bulleuse. Il n'y a aucune analyse de ces "basaltes" souvent riches (à vue) en phénocristaux d'augite et d'olivine, et quelques zéolites.

Le fait que les coulées empruntent les vallées actuelles, et la présence de cratères et de cônes adventifs bien conservés, indiquent un âge très récent. M.DONNOT assimile ainsi, dès 1963, le volcanisme du massif d'Ankasimbelo à la phase terminale "pléistocène" du volcanisme de l'Ankaizina (basaltes des "vallées" et volcans de la région de Bemanevika et de Nosy-Be). Ce volcanisme pléistocène est représenté essentiellement dans l'Ankaizina, par des basaltes à olivine et des basanitoïdes associés à des projections diverses : bombes, lapilli, cinérites stratifiées, tufs à blocs, etc...

G- Ankaratrites de l'Alaotra.- La bordure Ouest du lac est jalonnée de plusieurs petits pointements d'ankaratrites alignés sur une direction N.20° Est. Le pointement le plus important (colline d'Amparafaravola) correspond à des ankaratrites associées à des tufs stratifiés, ce qui implique la présence d'un centre éruptif. La coulée est constituée par des ankaratrites néphéliniques à pérowskite, riches en olivine, avec des intercalations réduites d'ankaratrites mélilitiques sans néphéline.

II- FORMATIONS SEDIMENTAIRES.- A- Sédimentaire du tampoketsa d'Analamaitso.- Les formations continentales gréseuses et argileuses à intercalations basaltiques qui recouvrent la majeure partie du tampoketsa d'Analamaitso sont, comme les basaltes, attribuées au Turonien, ou au Cénomanién pour les niveaux infrabasaltiques.

La série sédimentaire est constituée par une alternance de bancs de grès arkosiques, souvent à stratification entrecroisée, dominants, et de lentilles argileuses et argilo-sableuses diversement colorées : gris blanc, lie de vin, rouges et jaunes. L'ensemble, avec les coulées intercalaires discontinues, forme un biseau dont la puissance atteint 100 à 150 m sur les bordures Ouest et Nord-Ouest du tampoketsa, et qui s'amincit progressivement à l'Est. Le socle migmatitique pénéplané et latéritisé (argile latéritique) constituant le quart oriental du tampoketsa.

A l'Ouest, le plateau sédimentaire montre souvent une couverture superficielle de sables blancs issus de la désagrégation des grès.

B- Grès continentaux de la côte orientale (Foulpointe-Tamatave)..- La côte de Foulpointe au Sud de Tamatave est bordée de grès continentaux à stratification entrecroisée et passées argileuses diverses. Les affleurements sont bien visibles, à l'intérieur, entre Ambila et Brickaville, le long de la route et de la voie ferrée. La puissance de l'ensemble y est de l'ordre de 100 m. Les grès jaunes et rouges, à stratification entrecroisée, dominent avec des intercalations d'argiles violacées, et souvent de lits de plaquettes ferrugineuses développées au contact argiles-grès. Ces lits peuvent s'épaissir et donner naissance à des concrétions pseudosphériques de 10 cm de diamètre, creuses et tapissées à l'intérieur de poussières d'oxydes de fer et de petits cristaux de pyrite. Il existe aussi des niveaux d'argiles blanches kaoliniques contenant souvent de petites concrétions ou plaquettes bauxitiques blanches (titrant 55% d'alumine).

Le long de la zone côtière, les grès superficiels, altérés, lessivés et remaniés, donnent naissance à un niveau

superficiel important (2 à 3 m de moyenne) de sables blancs parfois très purs (utilisables en verrerie) superposés à des sables jaunes.

Cet ensemble, qui ne contient aucune intercalation basaltique, n'est pas daté avec certitude. R. LAUTEL y a découvert en 1951, à Antetetzambato (10 km au Nord de Tamatave) au pied de la formation grés-sableuse côtière, un débris inidentifiable d'ammonite qui provient probablement du substratum de cette formation. Or, beaucoup plus au Sud (région de Mananjary), les coulées côtières crétacées sont recouvertes par un maestrichtien marin bien daté (Pseudophyllites indra) à Ammonites.

Par raison de continuité avec ce sédimentaire marin du Sud, comme par analogie avec le continental "crétacé" à intercalations basaltiques du tampoketsa d'Analamaitso, on peut donc, semble-t-il, considérer comme probable un âge "crétacé" pour les grès et argiles continentaux de la région de Tamatave. Un âge plus récent (néogène) reste néanmoins également possible.

C- Bassin lacustre de l'Alaoatra. - Les sédiments lacustres de l'Alaoatra et de la plaine d'Andilamena (au Nord) sont les témoins du remblayage d'un lac plus important s'étendant au Sud jusqu'aux environs de Moramanga, soit sur environ 300 km, et déterminé par la formation, au niveau de l'Alaoatra actuel d'un graben complexe de direction côte Est (marqué par des fractures de direction N 20° Est, avec un rejet minimal global de 250 m) et dont le prolongement se marque au Sud par le tracé rectiligne de la vallée du Mangoro.

Le lac résiduel actuel, qui se déverse à l'Est dans le Maningory, se situe aux environs de la côte 750, sur la partie Est de la plaine alluviale principale à légère pente Est (altitudes comprises entre 750 et 760 m). Sur les bordures

Sud et Sud-Ouest de cette plaine, subsistent des lambeaux de terrasse aux cotes 910, 835 et 800, qui témoignent de stationnements successifs du niveau du grand Alaotra. Les sédiments ont été décrits en détail par E.LONGUEFOSSE, puis par P.BRENON (1952-53). Au-dessus de la plaine principale actuelle, les niveaux à 800 sont constitués par des grès et des sables à stratification entrecroisée, avec lentilles d'argiles ; les terrasses supérieures se manifestent surtout par des affleurements de sables jaunes remaniés en surface (épandages de sables blancs), et quelques bancs argileux intercalaires. Dans la plaine, en bordure du lac actuel, le sondage le plus profond (80m) n'a pas rencontré le socle et montre une alternance de grès, de sables variés et d'argiles dans lesquelles P.BRENON a distingué, de la base au sommet, 5 périodes de sédimentation successives : la première (15 m) est argileuse, à caractère lacustre, la seconde (20 m) sableuse correspond à une subsidence rapide avec apports fluviatiles importants, la troisième mixte (argileuse et sableuse) correspond à une subsidence saccadée ; la quatrième (10 m) est sableuse avec lits à débris végétaux ; la dernière (2 à 5 m) montre un retour à la sédimentation lacustre avec argiles grises et bleu-tées, vases noires à racines de *Cyperus* et tourbes.

L'ensemble est considéré comme plio-pléistocène.

D- Alluvions de Matsoandakana..- L'existence de larges dépôts continentaux de grès arkosiques ou conglomératiques à intercalations d'argiles violacées dans la région de Matsoandakana a été démontrée par M.DONNOT en 1963. Antérieurement, ces grès à intercalations argileuses qui donnent naissance à l'affleurement à d'épaisses formations de sables blancs, avaient été interprétés comme un recouvrement éluvial issu des crêtes de quartzites tout proches (à l'Est) de l'Anjiabe (A.LENOBLE et H. de la ROCHE). M.DONNOT décrit les alluvions de Matsoandakana comme un remplissage fluvio-lacustre d'âge indéterminé,

actuellement drainé par l'Antanambalana vers la baie d'Antongil.

Ces formations subhorizontales entaillées par les vallées actuelles, culminent aux environs de 950 m, et donnent des coupes locales visibles, en fond de vallée, jusqu'aux environs de 850 m dans la zone dépressive centrale.

En bordure, le socle affleure généralement au fond de vallées encaissées, les sédiments apparaissant alors en terrasses résiduelles accrochées de part et d'autre des vallées aux flancs de buttes latéritiques. Au centre, au contraire, les sédiments forment des tables entaillées par les vallées actuelles à fond marécageux. L'épaisseur possible du remblaiement, comme dans l'Alaotra, est donc inconnue.

En 1960, au cours de notre prospection pour bauxites des plateaux à l'Est et au Sud de Mandritsara, nous avons eu l'occasion de signaler sur ces plateaux, au centre de dépressions bordées de sables blancs éluviaux (attribués sur les cartes de première reconnaissance, comme à Matsoandakana, à des éluvions de lambeaux de la série des "schistes et quartzites") l'existence "de niveaux de grès quartzeux à ciment siliceux et d'argiles kaoliniques blanchâtres dont l'origine sédimentaire récente ne faisait aucun doute" (TBG.n°104 p.19). Nous les considérons en particulier, comme beaucoup plus récents que les sédiments continentaux "crétacés" à intercalations basaltiques du tampoketsa d'Analamaitso, découverts à la même époque. Ceci à partir d'arguments géomorphologiques évidents : les sédiments récents (ou "néogènes") constituant en effet le comblement de zones dépressives situées sur une surface d'aplanissement postérieure à la surface culminante des tampoketsa proprement dits (Analamaitso, Beveromay, Kamoro, Ankazobe, Fenoarivo), surface culminante qui nivelle à la fois le socle et les sédiments à intercalations basaltiques

du crétacé moyen, et que nous datons ainsi, au mieux, du "crétacé terminal".

Les sédiments de Matsoandakana marquent également le centre d'une cuvette majeure (altitude 950 à 850 m) développée au Nord du plateau du Mahakiry, à la jonction des plateaux de l'Est de Mandritsara (au Sud), et des plateaux de l'Ankaizina (au Nord-Ouest) ; mais comme pour l'Alaotra et les plaines des hauts plateaux liées au volcanisme de l'Ankaizina, il est probable que la localisation de cette importante masse de sédiments a été favorisée par le jeu d'accidents tectoniques locaux.

Une meilleure corrélation entre ces différents remblayages alluviaux, en l'absence de critère stratigraphique, est cependant impossible.

E- Plaines côtières.- Les plaines alluviales côtières, couvertes de cultures et où se concentre la majeure partie de l'activité et des ressources du pays Betsimisaraka, n'ont fait l'objet d'aucune étude particulière. Pour la plaine de Maroantsetra, on sait seulement que des sondages implantés en plusieurs points de la ville, sur le cordon de sables marins, ont traversé, sous 15 à 20 m de sables, une alternance de vases à débris coquilliers marins indéterminés, sables et alluvions à débris végétaux, et n'ont pas atteint le socle à -40 m. Le comblement actuel de la baie, se poursuit surtout au Nord et à l'Ouest, favorisé par un courant marin qui, remontant le long de la côte occidentale de la presque île Masoala, repousse vers ce secteur les alluvions de l'Andranofotsy et de l'Antanambalana.

L'alluvionnement actuel sur la partie Est de la baie est ainsi pratiquement nul, comme l'a prouvé une mesure au carbone 14 effectuée sur des alluvions à débris végétaux trouvées à la côte -20, à l'emplacement projeté du port de

Iaraka (dans le premier rentrant vers l'Est de la baie, au Sud de Mahalevona), mesure qui a donné un âge de 8.910 ± 80 années (M.KUNIHICO KIGOSHI-GAKUSHUIN Université-Tokyo).

III- CONCLUSION.- Le schéma général de la planche 25 replace les manifestations sporadiques postmétamorphiques (crétacées à quaternaires) intrusions, volcanisme, sédiments continentaux et fluvio-lacustres du Nord-Est dans un cadre plus vaste, englobant notamment les coulées de l'Ouest, les intrusions et le volcanisme tertiaire à quaternaire des régions d'Ampasindava et du Sambirano.

Il permet de mettre en relief le rôle primordial de la tectonique cassante et en particulier le fait majeur à notre sens, de l'existence d'une liaison Antongil-Sambirano. Cette liaison devait exister dès le crétacé comme le marque la virgation au Nord-Ouest du faisceau interne des dykes crétacés de la côte orientale, à partir de la région interne de Soanierana-Ivongo. Elle se matérialise ensuite par l'extension préférentielle jusqu'au Nord de la baie d'Antongil des intrusions et du volcanisme tertiaire puis quaternaire caractéristiques de la région d'Ampasindava et de l'Ankaizina, et enfin par la position symétrique des fossés d'effondrement (quaternaires ?) du Sambirano et de l'Antongil.

A partir de ce schéma, la liaison Sambirano-Antongil paraît logique. Elle a d'ailleurs été préconisée dès 1956 par J. de SAINT-OURS, dans sa thèse sur la région du Sambirano et du Nord du Tsaratanàna, et les géologues du BRGM (M.DONNOT, B.FOISSY et J.JOURDE) par la localisation de leurs travaux le long de la zone Sambirano-Antongil, paraissaient bien également en adopter l'idée, sans cependant la matérialiser. Le carton général qui accompagne leur carte de synthèse du secteur Ambanja-Maroantsetra conserve notamment le

schéma initial préconisé par A.LENOBLE du fossé de l'Antongil prolongé en N 10° Ouest par une faille "Bongolava" (parallèle à la côte Nord-Est de l'île) en direction de la plaine alluviale d'Andapa (cf schéma planche 25).

L'ensemble Antongil-Andapa, de direction Bongolava, continuant ainsi à être apparemment séparé conformément au schéma de A.LENOBLE, du fossé Nord-Ouest du Sambirano, par les hauts reliefs de l'Ankaizina et du massif de Tsaratanàna.

Or il semble que, même du point de vue de la géomorphologie actuelle, cette séparation ne peut se justifier.

En effet, on sait que l'emboîtement de niveaux d'aplanissement successifs a permis de schématiser le relief actuel de Madagascar, au niveau des hautes terres, comme le résultat d'un bombement général par à coups, maximal au niveau de l'arête centrale, et compliqué d'accidents tectoniques locaux.

Au niveau de la zone axiale des hautes terres dans notre région, la pénéplaine la plus ancienne crétacé terminal est représentée par les lambeaux culminants de l'Analamaitso et de l'Ankofa en pente douce vers le Nord et le Nord-Ouest, c'est-à-dire vers le bassin actuel de la Sofia (Bas Androna). Au Nord, le massif granitique de l'Androna porte des témoins de plateaux culminants érodés, dont l'altitude croît au contraire vers le Nord et qui viennent progressivement se confondre avec les hauts plateaux de l'Ankaizina, réalisant ainsi un ensemble symétrique au Nord de la Sofia, de l'alignement culminant des "tampoketsa" du Sud.

A l'Est de cette zone axiale, les plateaux de la faïtière actuelle représentent plusieurs niveaux imparfaits plus récents (tertiaires) étagés entre 1.200 et 750 m avec la même symétrie centrale vers le seuil ou plateau (d'Antsia-tsiaka - altitude 750 m), dans le prolongement exact du

niveau du Bas Androna (quaternaire ?), matérialisé ici par la courbe 300, à l'Ouest.

L'exposé des raisons de cette chronologie, que nous avons développé dans une publication antérieure (TBG n°104. Recherches des bauxites sur les tampoketsa 1960) sort du cadre de ce paragraphe. Elle s'accorde d'ailleurs pour l'essentiel avec la succession établie dans les environs de Tananarive par F.DIXEY (1957), sauf pour la datation de la surface culminante des tampoketsa, que F.DIXEY attribuait au Jurassique, et que nous avons considéré au contraire comme réalisée au crétacé "terminal" à cause de son recouvrement partiel et aplani de sédiments et de basaltes crétacés.

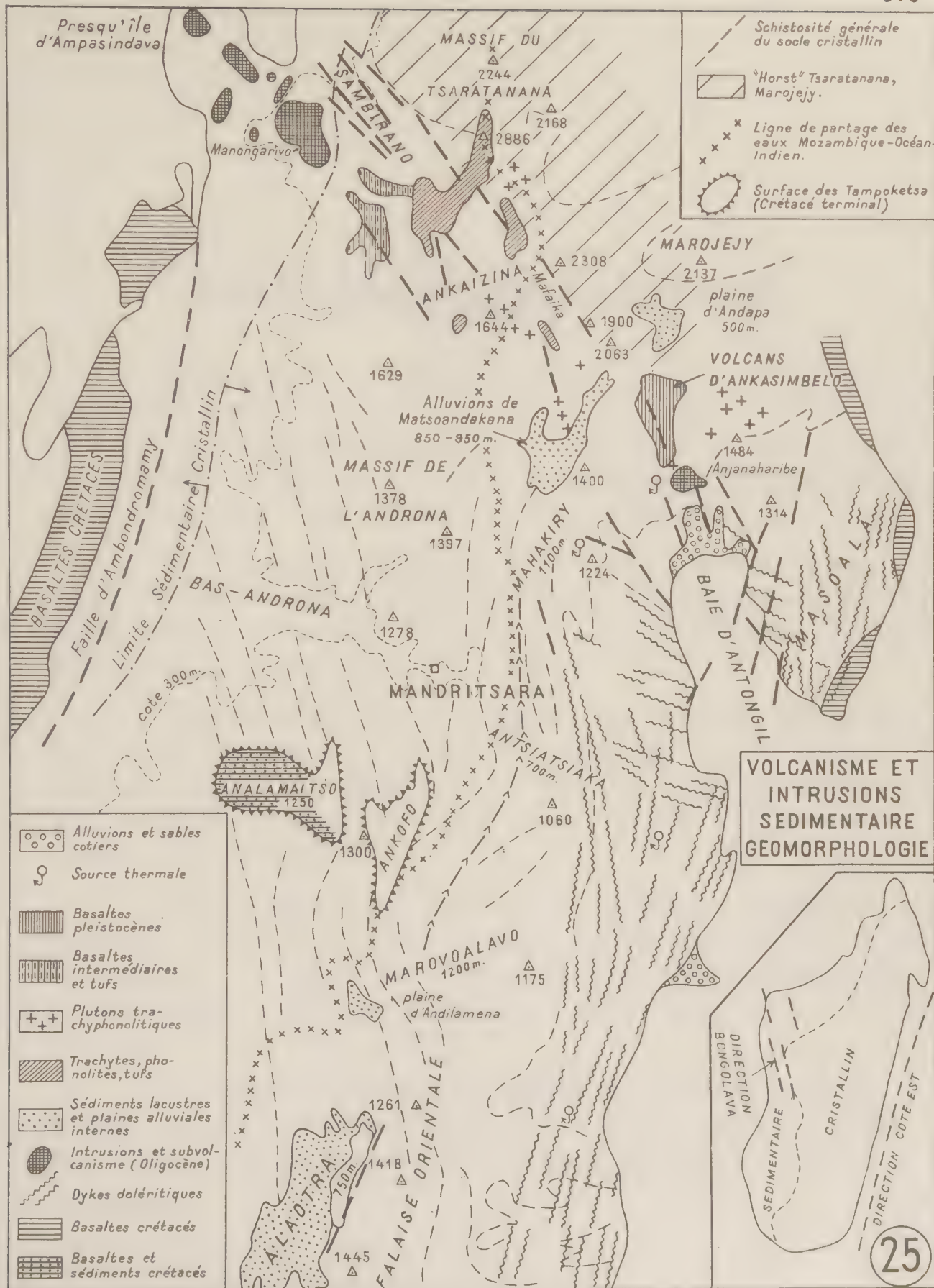
On voit que l'évolution géomorphologique de la majeure partie des hautes terres malgaches, du Sud de Tananarive aux plateaux de l'Ankaizina, entre les surfaces culminantes des tampoketsa et des hauts plateaux de l'Ankaizina (entre 1.600 et 1.800 m au maximum) jusqu'aux bas niveaux de l'Antsiatsiaka et de l'Androna, représente une succession harmonieuse dont la symétrie, par rapport au seuil actuel Bas Androna-Antsiatsiaka, marque bien l'appartenance à un même bloc homogène, dépourvu de fracturations importantes, mis à part sur sa bordure orientale, le fossé tectonique Alaotra-Mangoro.

Au Nord des plateaux de l'Ankaizina, on voit au contraire que ce schéma homogène s'interrompt brutalement sur une série de crêtes supérieures à 2.000 m, marquant la limite Sud du massif cristallin du Tsaratanàna-Marojezy profondément entaillé par l'érosion. La bordure Sud de ce massif se marque par un alignement remarquable des hauteurs au Nord-Est de la rivière Mafaika (situation planche 25) qui matérialise visiblement la limite orientale du "fossé" Sambirano-Antongil.

D'autre part, dans le prolongement Nord-Ouest de cette ligne, les coulées trachytiques du Maromokoto (culminant à 2.886 mètres sur le rebord Ouest du massif du Tsaratanàna) ont manifestement fossilisé des lambeaux de socle pénéplané existant à des altitudes de l'ordre de 2.300 à 2.500 m. Les mêmes coulées trachytiques, à l'Ouest, descendant en gradins du Tsaratanàna, s'épanchent sur les hauts plateaux de l'Ankaizina (1.600 à 1.800 mètres).

L'allure rectiligne du contact en marches d'escalier, entre les plateaux de l'Ankaizina et les hauts niveaux pénéplanés du Tsaratanàna, en coïncidence avec le fossé du Sambirano au Nord-Ouest et l'alignement de la Mafaika au Sud-Est, permet difficilement d'envisager ici l'hypothèse de deux niveaux d'érosion successifs. Il faut donc admettre qu'au début du tertiaire (avant la phase trachytique initiale du volcanisme de l'Ankaizina) le massif cristallin Tsaratanàna-Marojezy a joué le rôle de horst au Nord de la ligne Sambirano-Antongil, vis-à-vis du bloc homogène des hautes terres du centre de l'île, avec un rejet minimal de l'ordre de 5 à 700 m.

L'analyse géomorphologique, en rendant évident cet accident tertiaire antévolcanique important, s'accorde donc avec l'idée, tirée d'un ensemble d'arguments pétrologiques, d'une zone de faiblesse majeure, dans cette région du Nord-Est de l'île, active du crétacé au quaternaire, et constituant le fossé au sens large Sambirano-Antongil.



F - R E S S O U R C E S M I N I E R E S

Actuellement, l'exploitation du quartz, utilisé en piézoélectricité, de la région Mananara-Rantabe (à l'Ouest de la baie d'Antongil) et du graphite de la série du Manampotsy (à proximité de Tamatave et de la voie ferrée Tananarive-Tamatave) constitue les seules activités minières.

Il s'y ajoute sporadiquement la recherche de gemmes ou de pierres d'ornementation (minéraux de pegmatites : béryl, quartz rose, tourmalines, échantillons minéralogiques variés), surtout dans la région de l'Alaotra.

L'or alluvial fut intensément exploité par orpaillage à diverses époques entre 1900 et 1945. Les placers sont très dispersés. Les zones riches, d'exploitation rentable, sont écrémées : région de Vavatenina, placers de l'Antara et secteur de l'Andrarona.

La chromite a été exploitée au cours des dernières années à proximité de Tamatave (mine de Ranomena-Ugine). L'exploitation a enlevé la majeure partie du minerai de surface, le plus riche, néanmoins médiocre (ratio Cr/Fe de 1,3 à 1,5). Elle est actuellement stoppée.

Il existe d'importantes ressources potentielles en titane (sables de plages à ilménite) surtout concentrées entre Fénérive et Foulpointe, entre 50 et 100 km au Nord de Tamatave.

En dehors de ces zones privilégiées, il existe des indices dispersés de minéralisations en quartz, chromite, nickel, disthène, or, graphite, cassitérite, et platine (1 indice).

A - GRAPHITE.- Les gisements de graphite cristallin (en paillettes) de la région de Tamatave sont constitués par la zone d'altération latéritique des paragneiss silico-alumineux et graphiteux de la série du Manampotsy. L'exploitation se fait en carrières, à ciel ouvert. Sur les collines minéralisées, le décapage ou la séparation des stériles, et l'abattage du minerai argileux se font au bulldozer. Le graphite est ensuite séparé de sa gangue argilo-latéritique par débourbage, puis purifié par une suite de procédés simples : broyage, flottations, tamisages.

Les bancs graphiteux sont très nombreux et les réserves potentielles de Madagascar en graphite sont théoriquement considérables.

Cependant, pourqu'il y ait gisement, il faut que soient réunies plusieurs conditions : fortes réserves avec teneur du minerai latéritique au moins égale à 5 %, amenée d'eau abondante en tête du chantier et en position élevée, permettant le transport par gravité du minerai délayé (canal à "pulpe") jusqu'à la laverie, évacuation facile des stériles. Ainsi seules les collines minéralisées importantes, avec à la fois une forte dénivellée et une épaisse couverture latéritique (ce qui est assez rarement réalisé), situées à proximité d'une rivière ou d'un ruisseau important pouvant fournir l'eau à volonté (8 à 12 m³ d'eau sont nécessaires par m³ de minerai) sont actuellement intéressantes.

D'autre part, les frais de transport interviennent de façon importante sur le prix de revient du minerai livré

à Tamatave, et en 1963-64 par exemple, ils ne pouvaient dépasser 3.000 FMG par tonne pour un minerai vendu FOB à Tamatave 24 à 25.000 FMG la tonne.

Tout ceci fait qu'actuellement ne subsistent que 6 à 7 gisements bien équipés, localisés à l'arrière pays immédiat de Tamatave (bien pourvu en routes secondaires), ou au voisinage de la voie ferrée Tananarive-Tamatave, ou encore au Sud de Tamatave, dans le Manampotsy de la zone côtière de la région de Vatomandry-Mahanoro où l'évacuation sur Tamatave reste possible en utilisant le canal des "pangalanes", canal qui réunit les lagunes et les embouchures des fleuves côtiers et est accessible aux trains de pirogues de 5 à 10 tonnes.

La production malgache limitée par le marché est de l'ordre de 15 à 20.000 tonnes par an, sur une production mondiale totale de l'ordre de 500.000 tonnes. Elle place néanmoins Madagascar au premier rang mondial des producteurs de graphite cristallin ; celui-ci ne représentant en effet qu'environ 10 % (50 à 55.000 tonnes) de la production mondiale de graphite.

Le problème des réserves à vue s'est posé au cours des dernières années pour plusieurs des gisements en exploitation et a nécessité pour être résolu, plusieurs campagnes de prospection du Service Géologique et des exploitants miniers.

Au Nord de Tamatave, les couches graphiteuses riches se poursuivent dans le Manampotsy, jusqu'au niveau de Fito et de Manakambahiny (cf situation planche 26). Au delà, aucune concentration d'ordre économique actuel n'est connue.

Il est évident que la liaison routière directe lac Alaotra-Tamatave, prévue aux plans d'équipement de la République Malgache, en ouvrant à l'exploitation les secteurs de

Manakambahiny et de Fito, serait susceptible de modifier sérieusement les conditions actuelles de l'exploitation du graphite dans la région de Tamatave.

B - QUARTZ. - L'existence du cristal de roche dans le Nord-Est de Madagascar est connue depuis le 17^e siècle, mais ce n'est qu'à partir de 1953 qu'on s'y est intéressé en vue de la production de quartz piézoélectrique.

La production, de quelques kilogrammes en 1952, devint rapidement importante (3 tonnes en moyenne jusqu'en 1959), et à partir de 1960, avec la fermeture ou le ralentissement des exploitations des hauts plateaux du Sud de Tananarive, elle est devenue nettement dominante : 6 à 8 tonnes de 1960 à 1964, pour une production totale malgache de l'ordre de 10 tonnes. Ces proportions et ces chiffres semblent se maintenir.

La région minéralisée exploitée (à l'Ouest de la baie d'Antongil) est accidentée, très latéritisée et couverte à 90 % par la forêt tropicale dense. La population se concentre dans la zone côtière et le long des grandes rivières. De très vastes secteurs forestiers sont inhabités et pratiquement impénétrés.

Jusqu'en 1960, la presque totalité de la production provenait du ramassage de blocs roulés dans les ruisseaux et torrents, et de l'écramage superficiel des zones de concentration éluviales dans les latérites. Ce ramassage était le fait de la population forestière ; les permis miniers, à l'époque, concentrés pour la plupart au débouché des principales rivières et des pistes de la zone interne, indiquant visiblement la résidence principale des "collecteurs", plutôt que des lieux de production réelle.

Depuis 1960, avec l'écrémage progressif des concentrations de surface (éluviales et alluviales), les principales sociétés exploitantes ont dû entreprendre sérieusement la recherche et l'exploitation des gîtes en place. Cette recherche a été payante comme le montre l'augmentation de la production.

Les gîtes exploités sont de deux types : des gîtes filoniens de petite taille (quelques dizaines de m) exploités par décapage superficiel et fouilles limitées à la zone d'altération latéritique (soit 10 à 20 m au maximum) et des zones plus vastes d'épandages de blocs éluviaux et alluviaux provenant de la désagrégation de quartzites minéralisés.

L'exploitation de ces gîtes liés aux quartzites est évidemment très superficielle sur éboulis de pentes minéralisés (fouilles sur 1 à 2 m de profondeur), amas de blocs réalisés parfois en contrebas à la rupture de pente en tête de thalweg et zones à galets dérivées dans les ruisseaux drainants.

Les gîtes filoniens connus sont concentrés dans la zone côtière, à proximité des môles principaux des granites d'Antongil. Les filons de 1 à 3 m de puissance, souvent démantelés (glissements sur les pentes), sont constitués de quartz blanc laiteux ou translucide, sans valeur, dans lequel s'individualisent parfois des masses de quartz limpides, généralement prismées. Les individus cristallins peuvent atteindre une grande taille (jusqu'à $0,5 \text{ m}^3$). Les inclusions sont fréquentes en bordure : inclusions liquides (rares), ripidolite, épidote, rutil (cheveux de Vénus très communs), oligiste, pyrite, parfois feldspaths. Aux épontes des filons se développent souvent d'importantes masses de ripidolites, en cristaux millimétriques enchevêtrés constituant de véritables roches (ripidolitites) dont la puissance atteint couramment 0,5 m. Dans ces ripidolitites existent de nombreux

cristaux de quartz bipyramidés, de la taille du doigt, des cristaux centimétriques de muscovite, de feldspaths, des baguettes d'épidote (6 à 10 cm), de rutile.

Deux filons au moins, exploités dans la zone d'altération latéritique, après l'abattage de l'encaissant argilo-latéritique, ont fourni chacun une production de quartz piézo supérieure à 2 tonnes, avec une majorité de blocs de l'ordre de 2 à 300 kg chacun, ce qui accroît considérablement la valeur du quartz extrait (le prix du kg de quartz variant de 1 à 5 par exemple entre les échantillons d'un poids minimum de 3 à 500 g et les échantillons d'un poids supérieur à 7 kg).

Pour les gîtes liés aux quartzites, l'exploitation des éboulis fournit généralement des échantillons de plus petite taille (blocs de quelques kg en moyenne). Les gîtes en place non exploités dans les quartzites correspondent à des zones de différenciation hyaline de quelques décimètres de diamètre groupés en chapelets sur des réseaux de cassures, avec des épaississements donnant parfois naissance au centre à des cryptes à cristaux.

Gîtes filoniens et gîtes liés aux quartzites montrent une concentration préférentielle nette au niveau des aires synclinoriales, à résidus ectinitiques variés (dont de nombreux quartzites), ou "niveaux d'Anjahely", qui subsistent entre les dômes granito-migmatitiques du groupe de l'Anton-gil. L'intérêt de l'établissement d'une carte lithologique et surtout structurale suffisamment précise pour permettre une présélection des zones susceptibles de minéralisation dans ce pays forestier où la prospection systématique classique est très lente et très coûteuse, est donc évident.

Depuis 1953, la région du Nord-Est a produit plus de 50 tonnes de quartz piézoélectrique, ce qui la place au 1^{er} rang des régions productrices malgaches, avant les mines

bien équipées des hauts plateaux (45 tonnes environ). Ces dernières années, la part du Nord-Est a représenté en moyenne les 3/4 de la production malgache (10 tonnes en moyenne). L'exploitation dans le Nord-Est s'est faite d'abord aux moindres frais par l'écramage systématique des concentrations éluviales et alluviales. Les gîtes en place ne sont recherchés que depuis quelques années.

Si l'on tient compte du fait que la majeure partie de la zone forestière interne, peu pénétrée, est à coup sûr minéralisée, les réserves potentielles sont encore très importantes. Cependant, la recherche et la mise en exploitation de gisements, surtout dans les zones internes, sont difficiles : difficultés de pénétration, de main d'oeuvre, de ravitaillement.

La concurrence du quartz synthétique est aussi de plus en plus sensible.

Ainsi, bien que Madagascar occupe, avec 10 tonnes par an, pour le quartz piézoélectrique naturel, la 2^e place parmi les pays producteurs de l'Ouest après le Brésil (15 fois la production malgache en moyenne), on ne peut guère espérer semble-t-il une augmentation spectaculaire de la production dans les années à venir.

La réalisation d'une des deux liaisons routières prévues au plan de développement du Nord-Est, entre l'Androna et la côte orientale soit Mandritsara-Rantabe, soit Mandritsara-Mananara (voir situation planche 26) faciliterait grandement l'exploitation des zones internes assurant ainsi, pour le moins, le maintien et la compétitivité de la production actuelle.

G - OR. - Comme sur l'ensemble de Madagascar, l'or a été exploité en de nombreux points, dans la région du Nord-Est entre 1900 et 1950 environ. La production totale de la pro-

vince de Tamatave (Nord-Est plus Sud de Tamatave) a été de l'ordre de 6 tonnes. La plus grande partie de la production provenait de gîtes alluvionnaires et éluvionnaires, dérivés de gîtes primaires (inexploitables) métamorphiques, dans lesquels l'or représente un constituant minéralogique normal en traces, dispersé dans certains niveaux de schistes cristallins, avec possibilité de reconcentrations locales, liées au métamorphisme ou à des phénomènes pneumatolytiques et hydrothermaux secondaires. Les gîtes filoniens vrais, dans lesquels l'or paraît totalement étranger à son encaissant, sont exceptionnels. Dans la région du Nord-Est, les principaux centres d'exploitation ont été :

- la région de Vavatenina (entre Fénérive et l'Alao-tra)
- l'Andrarona (au Sud-Ouest d'Antalaha)
- les placers de l'Antara (en contre-bas du massif de l'Antara, dans la zone interne de Soanierana-Ivongo)
- de nombreux points très disséminés au niveau de l'Alaoatra-Beforona
- et quelques points dans le Bas Androna à l'extrême Nord-Ouest, et, à l'Est, en bordure des hauts plateaux forestiers du versant oriental.

1- Zone aurifère de Vavatenina. - Elle a été exploitée dès 1900, et son exploitation s'est poursuivie, avec de nombreux aléas, jusqu'en 1947.

La production totale est inconnue : il n'existe en effet aucune statistique d'ensemble. La production semble avoir été très importante au début : on cite le chiffre de 40 kg d'or recueilli en 6 mois en 1902, sur le seul permis de Mahanoro, à 10 km à l'Ouest de Vavatenina. Dès 1904, les

principaux placers semblent s'épuiser. La production s'abaisse en effet à quelques dizaines de kg par an. De 1922 à 1924, elle n'est plus que de l'ordre de 5 à 6 kg. Le minimum est atteint en 1933 avec 0,3 kg. Elle reprend ensuite légèrement de 1933 à 1940 avec 1 kg par an. Enfin, de 1942 à 1945, on retrouve une production annuelle de 20 à 25 kg. Mais cette production est artificielle : obtenue sans souci de rentabilité réelle, avec l'emploi d'une main d'oeuvre réquisitionnée, procédure que justifiaient à l'époque les besoins en devises du territoire séparé, de la métropole occupée. En 1947, l'exploitation a été totalement abandonnée.

Depuis 1960, le gouvernement cherche, par la constitution de groupes ruraux pour l'exploitation aurifère (G.R.E.A.), groupements coopératifs auxquels une partie du matériel nécessaire est fournie (batées, pans, barres à mines, balances) à relancer l'orpaillage.

Une mission d'experts de l'O.N.U. ayant signalé l'intérêt de la région de Vavatenina, un G.R.E.A. y était implanté au début de 1965. Le démarrage s'avérait difficile (la production était encore nulle en Août 1965). Le Service Géologique (brigade RAZAFIMANANTSOA) fut alors chargé de la cartographie et d'une prospection plus précise de la zone aurifère. Rapidement, RAZAFIMANANTSOA démontrait qu'alluvions des lits, flats et banquettes étaient pratiquement épuisés (teneurs inférieures à $0,5 \text{ g/m}^3$). Les principales zones intactes minéralisées signalées par la mission O.N.U. correspondaient essentiellement à des terrasses d'exploitation difficile : la zone la plus intéressante, celle des terrasses de la Sahavatoina, couvrant un total de 90 ha en amont de Vavatenina, avec des teneurs de $0,5 \text{ g/m}^3$ en moyenne (exceptionnellement 1,5 g) dans une couche à galets de 0,5 à 0,8 m d'épaisseur surmontée de 2 à 5 m d'alluvions argilo-sableuses

stériles. RAZAFIMANANTSOA préconisait l'exploitation des terrasses semi-mécanisée avec sluices, berceaux, amenée d'eau en tête de chantier.

En 1966, le G.R.E.A. n'avait encore fourni aucune production et la révision de la carte Vavatenina nous donnait l'occasion de confirmer le pronostic défavorable d'ensemble émis par RAZAFIMANANTSOA avec la constatation qu'en fait les 8/10 de la superficie des terrasses intactes sont occupées par des rizières, et d'importantes plantations de bananiers, caféiers, girofliers, canne à sucre. Elles sont donc intouchables. Il faut par conséquent abandonner tout espoir d'une reprise importante de la production aurifère dans la région de Vavatenina. Tout au plus peut-on y envisager l'encouragement d'un orpaillage limité, irrégulier (sur des lambeaux restreints de flats ou de terrasses, ou en lit vif), pouvant fournir une modeste ressource d'appoint aux habitants.

2- Andrarona.- La région des schistes sériciteux de l'Andrarona, en couverture sur les granites de l'Antongil, au Sud-Ouest d'Antalaha, a été exploitée de 1905 à 1920 environ. Les principaux gisements étaient alluvionnaires, dérivés de gîtes métamorphiques liés, comme à Vavatenina, à une minéralisation diffuse des schistes ou micaschistes, localement concentrée au niveau de zones riches en veines ou lits quartzeux interstratifiés.

Les quartz minéralisés avec rutile et tourmaline existent aussi localement en stockwerks dans les granites gneissiques sous-jacents.

On a signalé enfin dans la même région plusieurs exemples de filons de quartz pyriteux ou carrié aurifère recoupant les schistes. Le plus important (puissance 1 m, visible sur 150 m), à Antrahivo, 18 km au Sud-Ouest d'Antalaha,

a été décrit par A.LENOBLE puis A.SAVORNIN, qui en a estimé les réserves certaines (à 7,5 g/tonne seulement) à 86 kg et les réserves possibles à 172 kg. L'exploitation envisagée vers 1945 n'a pas été entreprise. Il n'y a pas eu d'étude récente de la zone aurifère.

3- Antara et gîtes dispersés. - Les placers de l'Antara, dans la zone interne de Soanierana, au début de la zone des hauts plateaux désertiques de la falaise, sont cités par A.LACROIX comme exploités avant 1920, sans chiffres de production.

De nombreux gisements dispersés pour la plupart également exploités par orpaillage entre 1900 et 1952 au plus tard, existent dans l'Alaotra, quelques-uns à l'Ouest dans le Bas Androna, et à l'Est, sur la bordure orientale des hauts plateaux de la falaise, c'est-à-dire pratiquement à proximité du contact Antongil-séries ectinitiques supérieures.

Deux gîtes du Beforona-Alaotra, à l'extrémité Sud, Grigri et Marovato, ont donné lieu en plus à d'importants essais d'exploitation en roche.

Sur le premier (Grigri, à 45 km à l'Est de Moramanga), on a tenté vers 1905 la mise en exploitation (puits et tranchées) d'une grosse lentille de quartz de 80 sur 13 mètres. Cette exploitation a été rapidement abandonnée, le minerai le plus riche n'ayant jamais donné plus de 6 à 7 g/tonne.

Sur le second (Marovato, à 50 km au Nord-Est de Moramanga) constitué par 3 veines de quartz interstratifiées allongées sur 3 à 4 km, d'importants travaux ont été conduits par A.LENOBLE entre 1945 et 1952. La première veine, d'une puissance de 0,35 à 1,5 m, était ainsi reconnue fin 1945 sur 405 m en allongement et 35 m en hauteur. Une laverie avait été installée, qui avait traité 350 tonnes de minerai donnant 3025 g d'or (soit environ 8 g d'or libre par tonne ; l'or

inclus dans les sulfures, non récupéré, étant estimé à 5 g/tonne. L'installation a été détruite en 1947. Le gisement a été définitivement abandonné en 1952.

A.LENOBLE estimait les réserves en 1955 à 5,5 tonnes (avec une teneur récupérable de 10 g/tonne). En 1966, une nouvelle étude menée par G.NOIZET et R.RAKOTONANAHARY (Service Géologique), a confirmé les teneurs en roches dans les zones exploitées à 8 g d'or libre par tonne, et 5 g inclus dans les sulfures, ainsi que l'extension probable de la lentille quartzeuse principale (1 ou plusieurs lentilles décalées ?) sur 700 m avec une puissance maximale de 1,5 m. Mais G.NOIZET met également l'accent sur l'incertitude de la régularité de la minéralisation, en signalant que "les travaux se sont agrandis dans les zones riches et ont été réduits au minimum dans les zones pauvres". (CRSG 1966 p.140), et conclut par l'impossibilité vues les teneurs insuffisantes en roche d'une reprise actuelle du gisement.

4- Conclusion.- Dans le Nord-Est de Madagascar, comme pour le reste de l'île, la pratique intensive de l'orpaillage de 1900 à 1950, a pratiquement épuisé les gisements riches, surtout alluvionnaires.

Les quelques gisements en roche connus sont d'extension et de teneurs trop faibles pour justifier une mise en exploitation.

La possibilité d'une relance notable de la production dans le Nord-Est ne pourrait résulter que d'une revalorisation importante de l'or ou de la découverte possible de placers intacts, au niveau des vastes zones forestières désertées et peu pénétrées de la falaise et des hauts plateaux adjacents. Du point de vue géologique, il est en effet peut être utile de souligner que si l'ensemble du groupe de l'Antongil paraît pratiquement dépourvu de minéralisation aurifère.

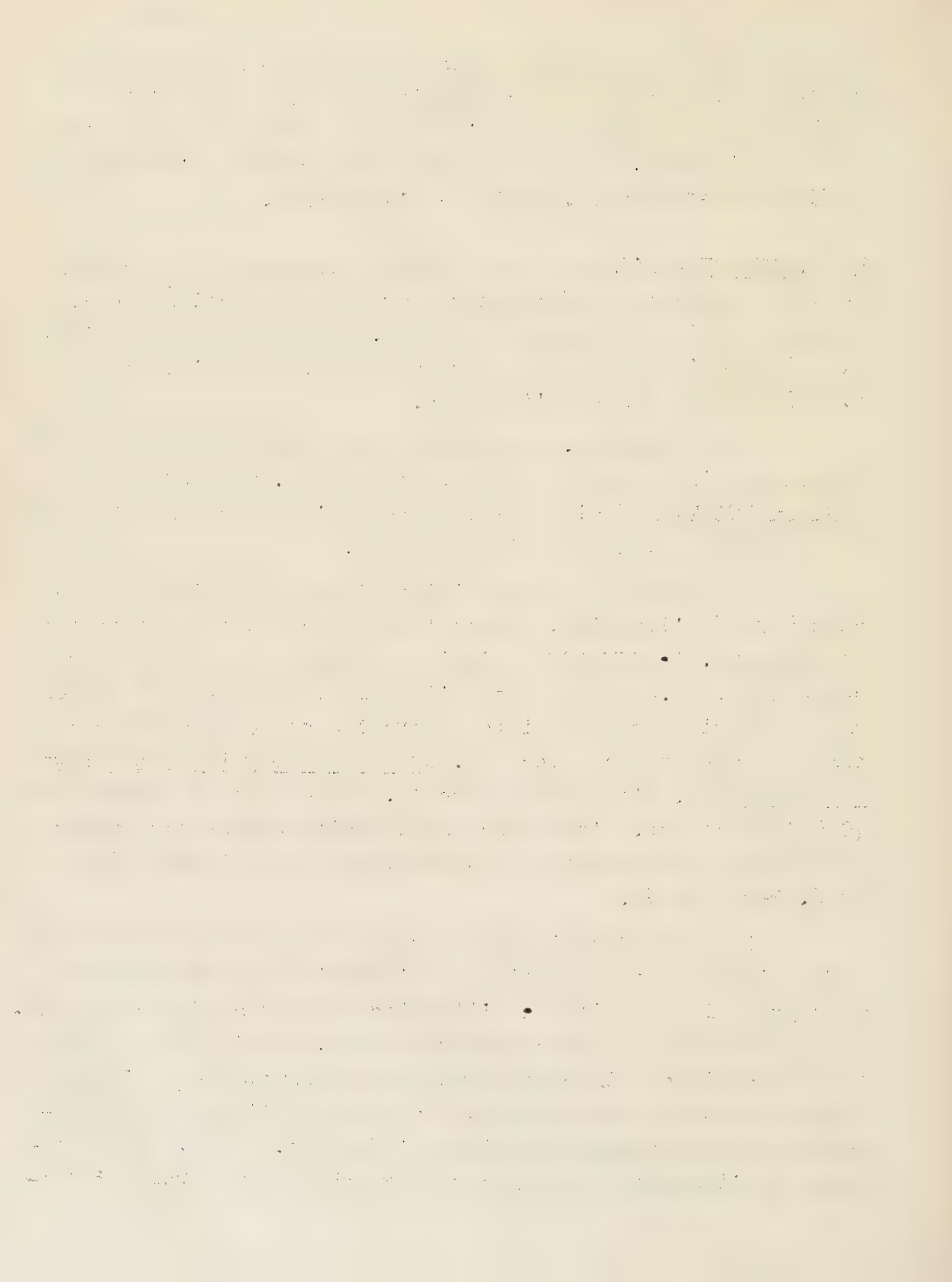
celle-ci montrerait au contraire à l'échelle régionale une certaine tendance à la localisation au niveau des séries ectinitiques superposées à l'Antongil : série de Vavatenina, zone de l'Antara, indices dispersés des régions d'Antenina et du Mahakiry-Sahantaha, série de l'Andrarona.

D - ILMÉNITE. - L'intérêt des plages à ilménite de la région Nord de Tamatave a été démontré par les prospections de J. BEHIER (Service Géologique) en 1953. Une première approximation indiquait alors des réserves possibles de l'ordre de 1,5 million de tonnes d'ilménite.

Dès 1954-1955, le BUMIFOM entreprenait des recherches complémentaires dans ce secteur et en 1957, un syndicat BUMIFOM/KULHMANN était constitué pour l'étude de la zone Fénérive-Foulpointe, la plus intéressante.

En fixant la teneur limite d'exploitabilité des sables à 20 % d'ilménite, compte tenu des conditions de frêt et de gisement, le BUMIFOM arrivait rapidement à un tonnage reconnu de 1.000.000 de tonnes d'ilménite, dont 700.000 tonnes entre Fénérive et Foulpointe (entre 100 et 60 km au Nord du port de Tamatave) et avec 504.000 tonnes pour la seule plage de Foulpointe. L'ilménite titre 44,5 % de TiO_2 en moyenne pour 40 à 42 % de Fer. C'est donc une ilménite pauvre par rapport aux ilménites indiennes ou australiennes exploitées (TiO_2 : 53 %, Fer : 37 %).

Le BUMIFOM envisageait (rapport Sainte Claire Deville 1959) d'abord une séparation de l'ilménite par un tamisage approprié (la totalité de l'ilménite passant au tamis 0,5 mm), puis un broyage fin du concentré obtenu, suivi d'une séparation magnétique qui augmenterait sa teneur en TiO_2 , l'examen minéralogique ayant montré que les grains d'ilménite renfermaient de nombreuses inclusions d'hématite. Enfin, un traitement de l'ilménite au four par le charbon permettrait d'obte-



nir un concentré riche en oxyde de titane, par réduction directe de l'oxyde de fer du minerai, récupéré ensuite sous forme de fer. Ce traitement se calque sur celui utilisé pour les ilménites du lac Allard au Canada qui donnent ainsi un concentré à 72 % TiO_2 à partir d'un minerai à 35 % TiO_2 et 40 % Fer.

Ce projet n'a pas eu de suite.

E - CHROMITE.- 1- Ranomena.- La chromite se présente en lentilles (allongement décamétrique, puissance 4 à 5 m) dans un massif de harzburgite de 700 m sur 300, situé à 25 km à vol d'oiseau au Nord-Ouest de Tamatave, et à 47 km par la route.

Ce massif fut découvert vers 1940, et étudié pour la première fois par A.LENOBLE entre 1942 et 1944. Une seconde étude fut effectuée en 1951-52 par le BUMIFOM avec O.ORLOFF et M.KAVENKO. Elle n'aboutit pas, le mauvais état du minerai (Cr/Fe inférieur à 1,5) s'opposant alors à son utilisation tel quel en métallurgie.

En 1957, la société Ugine reprenait l'étude détaillée du gîte et concluait à l'existence de 100.000 tonnes de minerai "de surface" et 120.000 tonnes de minerai "profond".

Le minerai de surface, plus riche à cause du lessivage latéritique superficiel du fer et de la silice, titre 41 % Cr_2O_3 pour 2,5 % SiO_2 , avec un ratio Cr/Fe égal à 1,5. Il est exploitable tel quel. Le minerai profond titre seulement 33 % Cr_2O_3 pour 12 % de silice, avec Cr/Fe égal à 1,3. Il nécessiterait un enrichissement sur place.

Le minerai de surface a été exploité de 1960 à 1964 par la société Ugine, au rythme de 20.000 tonnes par an au maximum, après la construction par la société d'une route

goudronnée de 16 km qui raccordait le gisement au réseau routier (goudronné) existant et permettait ainsi l'évacuation du minerai par route sur Tamatave, à 47 km.

La mine est actuellement fermée, la société Ugine mettant en exploitation les gisements plus intéressants de la région d'Andriamena (au Nord-Ouest de l'île).

2- Autres indices. - Dans l'environnement de Ranomena, les alignements d'ultrabasites magnésiennes métamorphisées de la région d'Ambodiriana sont parfois minéralisées. Les principaux indices connus (une dizaine au total) ont été étudiés par le Service Géologique et par Ugine. Les réserves à vue sont, pour chacun d'entre eux, de l'ordre de quelques milliers à quelques dizaines de milliers de tonnes.

Aucune minéralisation par contre (à part des indices alluviaux), n'a pu être mise en évidence dans les alignements identiques que l'on rencontre accessoirement plus au Nord dans le groupe de l'Antongil jusqu'au niveau de Mananara, ainsi que dans les formations de la falaise et du Beforona-Alaotra.

En dehors de la zone d'Ambodiriana, on ne connaît ainsi actuellement, dans toute la région du Nord-Est, que trois autres indices de chromite : ceux de Beriana et de Zafindravoay dans le Bas Androna ; celui de la rivière Maha-kiry dans l'Antongil à 35 km à l'Ouest-Sud-Ouest de Maroantsetra, et à une vingtaine de km de la côte.

L'indice de Beriana, à 36 km au Sud de Befandriana-Nord, a été découvert par EMBERGER en 1955. Il était constitué par des blocs métriques de chromite d'excellente qualité (57 à 59 % Cr_2O_3 , ratio de 3 à 3,2), dispersés sur 2 à 300 m au niveau d'une zone plane alluvio-latéritique. La lentille d'origine n'a pas été retrouvée malgré des recherches complé-

mentaires du Service Géologique (1959) et du BRGM (1960-1961) avec d'importants travaux : tranchées, sondages, et géochimie. L'indice reconnu correspond en définitive à 4.000 tonnes de chromite à 53 % Cr_2O_3 et ratio moyen de 2,6.

L'indice de Zafindravoay, signalé par H. RAZAFIMANJATO en 1961, à 22 km à l'Ouest Sud-Ouest de Befandriana, a été examiné par C. ALSAC (1962). Il correspond à un alignement de blocs métriques de pyroxénolites sur 1 km, en direction N 15° Ouest. La chromite affleure sur de petites buttes et est manifestement en place. La ratio varie de 2,3 à 2,9. Cet indice paraît ne pas avoir d'extension.

L'indice de la rivière Mahakiry, découvert en 1966 au cours des premiers levers de reconnaissance effectués dans cette zone de forêt impénétrée, correspond à un alignement de quelques blocs de chromite à serpentine interstitielle (4 d'un demi-mètre cube chacun) visibles dans un ruisseau de 2 à 3 m de large, affluent du Mahakiry en X=1174,200 - Y=724,200. Ces blocs sont nettement associés au Sud et au Nord à des éboulis d'amphibolites à trémolite actinote et de soapstones. La chromitite analysée titre 51,4 % Cr_2O_3 avec un ratio Cr/Fe=1,5. C'est donc un minerai médiocre, identique à celui de Ranomena. Plusieurs indices alluviaux à chromite abondante existent dans un rayon de quelques km, ne provenant manifestement pas de la même lentille. Cette zone forestière pratiquement impénétrée justifierait, semble-t-il, un examen plus approfondi avec cartographie précise, prospection alluviale et directe détaillée.

F - MINERALISATIONS DISPERSEES.- 1- Quartz.- En dehors de la zone productrice principale de Rantabe-Mananara, des indices de minéralisation sont connus sur tout le versant oriental ainsi que sur les hauts plateaux de l'Est de Mandritsara. Certains donnent lieu à une production accessoire (quelques

dizaines à quelques centaines de kg) qui est commercialisée dans les villes de la côte : Rantabe, Mananara, Soaniera, Tamatave.

2- Disthène.- La possibilité d'utiliser les bancs apparemment riches en disthène des micaschistes de Soanierana-Ivongo a été étudiée à plusieurs reprises par J.AUROUZE (1950), J.M.SPINDLER (BUMIFOM, 1954), J.MARCHAL (1960) sans résultat. Le disthène bleuté est trop ferrifère, les réserves reconnues tant en alluvions qu'en roches sont insuffisantes, et en plus souvent en dessous des teneurs minimales d'exploitation (25 à 30 % en roche, 10 % en alluvions).

3- Cassitérite.- La cassitérite se rencontre à l'état de traces, dans d'assez nombreux concentrés alluviaux le long de la falaise orientale. Ceux du groupe de l'Antongil en sont totalement dépourvus. Quelques concentrés à cassitérite abondante se groupent dans les gneiss de la région Sud-Ouest d'Antenina. L'origine de cette minéralisation est mal connue. Elle ne peut être mise en relation avec des manifestations intrusives classiques. Au contraire, comme pour l'or, sa répartition régionale fait penser à une minéralisation dispersée plus particulièrement liée à certains niveaux des séries ectinitiques silico-alumineuses orientales. Cette observation étant peut être à rapprocher des résultats récemment tirés d'une campagne de prospection géochimique O.N.U dans le Sud-Est de Madagascar, qui ont montré que les minéralisations de cassitérite en traces étaient très nettement liées ici à des bancs leptynitiques et ferrifères occupant une position stratigraphique bien définie (A.BOUSTEYAK Rapport annuel 1967).

Dans le Nord-Est, la base des séries ectinitiques est souvent également leptynitique (ou quartzeuse). On pourrait donc penser à une origine syngénétique : on sait en effet

par exemple que les sables à magnétite, or, et cassitérite sont caractéristiques de certaines séries détritiques marines.

Ces indices alluviaux de cassitérite paraissent pour l'instant ne présenter aucun intérêt économique.

4- Platine. - La présence de platine alluviale est citée par A.LACROIX dans l'environnement Sud du massif gabbroïque orthogneissifié de l'Antara. Cet indice n'a été retrouvé ni par J.MARCHAL (1958), ni par J.BIJKELBOOM (1963).

5- Nickel. - Le gîte de Nickelville (ou mine Valvert), à 18 km à l'Est-Nord-Est d'Ambatondrazaka est connu depuis avant 1914 (travaux de Lasnier). Il fut étudié par A.LENOBLE vers 1944 (avec 600 m de galeries, nombreux sondages et tranchées). Le gisement est constitué par une lentille de harzburgite très laminée de 300 m d'allongement sur 100 à 200 m de puissance, recouverte de serpentine à veinules de garniérite et d'argiles latéritiques plus ou moins lessivées. En ne tenant compte que de la garniérite de la serpentine récupérable par scheidage, A.LENOBLE estimait ce gisement à environ 3.000 tonnes de nickel métal seulement.

L'étude très détaillée en a été reprise récemment par le BRGM. Elle montre en fait des teneurs irrégulières, aussi bien dans les latérites de recouvrement (0 à 10 m) que dans les serpentines sous-jacentes : serpentines jaunes à vertes, altérées, à réseau serré de garniérite, opale et giobertite (10 à 20 m) puis serpentines dures, vertes à noires, à réseau lâche d'opale et garniérite (2 à 15 m) superposées aux harzburgites en voie de serpentinitisation. Les teneurs varient de 0,5 à 2 ou 3 % de nickel, la moyenne étant de 1,3 % de nickel. Les réserves sont ainsi estimées, à partir d'un minerai moyen à 1,3 %, à 6.300 tonnes de nickel métal.

A partir de cet indice, le BRGM a effectué de 1960 à 1963 une prospection très détaillée, avec accompagnement de géochimie, des alignements d'ultrabasites et des massifs basiques de l'ensemble Beforona-Alaoatra, du Nord de l'Alaoatra jusqu'au niveau de Moramanga. Le principal résultat en a été la découverte de la lentille péridotique minéralisée de Bemainty à 30 km au Sud-Est d'Ambatondrazaka.

Cette lentille, avec des dimensions de 800 x 280 m, couvre environ 16 ha. Elle est constituée de dunites, harzburgites et pyroxénolites à olivine accessoire. Les teneurs en roche-mère sont de l'ordre de 0,5 % Ni.

Comme à Nickelville, la serpentinitisation est très développée. Les réserves minimales, calculées à partir des sondages sont de 21.200 tonnes de nickel métal d'un minerai moyen à 1,26 % Ni. Le tonnage possible pourrait s'élever à 40.000 tonnes dans un minerai à 1,3 %.

Plusieurs autres lentilles péridotiques minéralisées se situent dans l'alignement de Bemainty, mais elles sont de très petite taille : réserves en nickel métal inférieures à 1.000 tonnes par lentille. Et en définitive, les travaux du BRGM ont pu démontrer que la plupart des alignements ultrabasiques du Beforona-Alaoatra (plusieurs centaines de lentilles reconnues) sont surtout constitués de pyroxénolites magnésiennes sans minéralisation nickelifère notable : inférieure à 1 % tant dans les serpentines que dans les latérites de recouvrement.

Dans la région côtière d'Ambodiriana, les alignements ultrabasiques métamorphisés, essentiellement pyroxénolitiques et accessoirement chromifères, étudiés à plusieurs reprises par le Service Géologique (1960 à 1961) n'ont montré aucune trace de minéralisation nickelifère.

Dans la région côtière de Mananara, nous avons par contre montré l'existence, en 1964, d'une minéralisation discrète liée à des accidents péridotiques dans les alignements à dominance pyroxénolitique métamorphisée, non chromifères, identiques à ceux d'Ambodiriana. Les travaux de reconnaissance ont été limités au recouvrement d'argiles latéritiques, dans lequel les teneurs en nickel atteignent 1,5 % sur péridotites. Elles ne dépassent pas, comme dans l'Alaotra, 0,8 % sur pyroxénolites. Les roches-mères tiennent de 0,2 à 0,5 % Ni. La serpentinitisation est localement importante. Les accidents péridotiques montrent une localisation préférentielle sur la bordure des lentilles pyroxénolitiques les plus importantes (1 à 3 km en allongement, 100 à 300 m de puissance), ils représentent une superficie médiocre : quelques ha dans chaque cas. Compte tenu du pronostic défavorable tiré du résultat des prospections BRGM sur les formations identiques du Beforona-Alaotra, les travaux n'ont pas été poursuivis.

G - CONCLUSION. - Les seules productions minières actuelles notables, de la vaste région du Nord-Est et du centre Est (versant oriental de Tamatave à Antalaha, Alaotra et Androna) sont le graphite et le quartz, exploités tous deux dans la zone orientale. Leur valeur représente néanmoins environ le 1/4 de celle des exportations minières malgaches (jusqu'à la mise en exploitation prochaine des gros gisements de chromite de la région Nord-Ouest : Andriamena, qui modifiera fortement ces statistiques).

La région Nord-Est est handicapée par sa couverture forestière, et l'absence de voies de pénétration, qui rendent coûteuse et difficile l'exploration géologique comme la prospection minière.

Il est évident, comme nous avons essayé de le montrer au cours de cette brève description, que la réalisation des principales liaisons routières prévues au plan de développement entre l'Androna et l'Alaotra et la zone côtière orientale contribuerait pour le moins à maintenir les productions actuelles.

Du point de vue de la recherche future, il semble que ce soit surtout, compte tenu du contexte géologique général, au niveau des minéralisations classiques liées aux roches basiques (nickel et chrome notamment) que l'effort puisse être poursuivi.

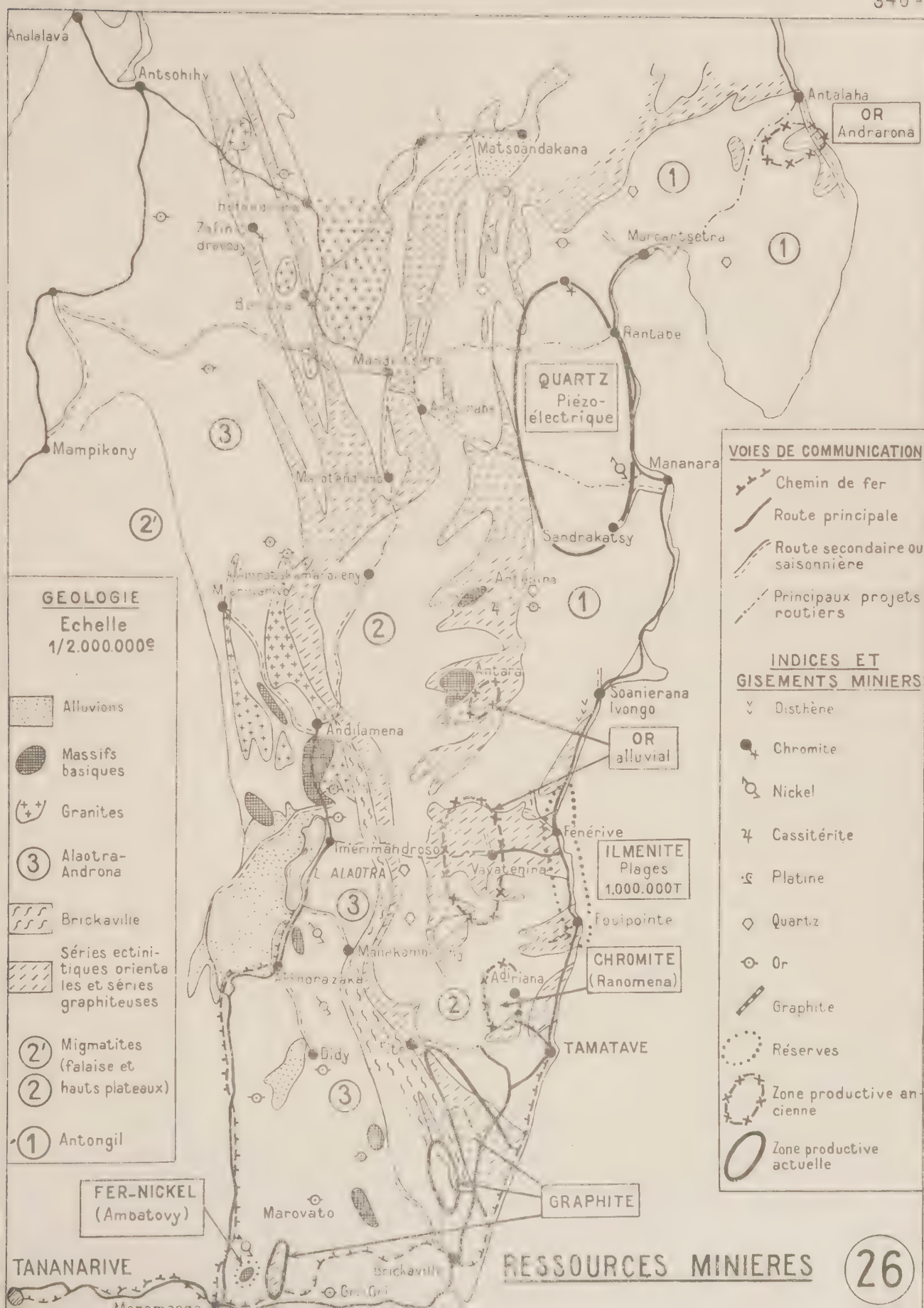
La majeure partie du versant oriental vient d'ailleurs d'être couverte par un permis de recherche pour nickel accordé à un important groupe de sociétés qui, associé au BRGM, se propose en premier lieu d'exploiter les indices de traces de minéralisation sulfurée mis en évidence par le BRGM au niveau des complexes basiques du Beforona-Alaotra (notamment du massif de l'Ankera).

La recherche de nouvelles minéralisations, surtout au niveau des vastes secteurs de la falaise et des plateaux forestiers adjacents, peu pénétrés (la maille des itinéraires y est souvent encore de l'ordre de 5 à 10 km, sinon plus), ne doit cependant pas être négligée.

La découverte en 1960 du massif intrusif d'Ambatovy-Analamay avec des différenciations périclitiques importantes supportant une épaisse couverture latéritique nickelifère (1.000.000 tonnes de nickel métal à 1,3 % Ni) et ferrugineuse (cuiresse superficielle de 2.800.000 tonnes de fer à 46-47 % Fe) apporte d'ailleurs la preuve que dans de telles régions la simple exploration peut encore être susceptible d'aboutir à des résultats heureux : le massif d'Ambatovy qui se situe en effet à 15 km environ au Nord-Est de Moramanga,

à moins de 10 km à l'Ouest et au Sud de la route et de la voie ferrée Alaotra-Moramanga-Tamatave, et a également moins de 15 km à l'Est, de la bordure occidentale de la zone de l'Alaotra-Beforona, prospectée en détail pour nickel par le BRGM, était complètement passé inaperçu lors de l'établissement de la première carte géologique de reconnaissance de la région (réalisée en fait, dans ce secteur forestier, à une maille voisine de 10 km). Sa découverte est due à M. RANTOANINA (Service Géologique 1960) au cours du lever normal de la carte géologique au 1/100.000, à la maille moyenne de 3 km.

La simple exploration, qui peut encore permettre la mise en évidence dans cette région d'indices ou de gisements (affleurants) est donc à poursuivre en premier lieu, en même temps que l'établissement de cartes géologiques et structurales suffisamment précises pour orienter utilement d'éventuelles recherches ultérieures, spécialisées et plus coûteuses. Il est remarquable de constater en effet que les principaux résultats miniers positifs acquis à Madagascar au cours des vingt dernières années, chromite d'Andriamena, bauxites du Sud-Est et de l'Ankaizina, nickel d'Ambatovy, pour ne citer que les plus importants, résultent de l'exploitation raisonnée d'indices fournis par l'exploration et l'établissement des cartes de reconnaissance. Mais ce processus nécessite une suite de recherches persévérantes et ingrates dont l'utilité et la logique ne sont pas toujours perçues.



2^{ème} PARTIE

SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

A - SYNTHESE LITHOLOGIQUE ET STRUCTURALE
 ~~~~~

Les terrains cristallins du Centre Nord et du Nord-Est de Madagascar se répartissent en trois groupes, se succédant d'Est en Ouest :

Groupe de l'Antongil,

-"- de Sahantaha-Manampotsy,

-"- et de l'Alaotra-Androna.

I - LE GROUPE DE L'ANTONGIL. - Il correspond à un ensemble de granites et migmatites, à intercalations ectinitiques résiduelles, qui montrent une concentration préférentielle nette au niveau d'aires synclinales, notamment sur les bordures Sud et occidentale des masses granitiques principales, ceinturant, de façon caractéristique, de petits dômes granito-migmatitiques annexes, d'orientation divergente.

Cartographiquement, les divers faciès lithologiques du groupe de l'Antongil sont séparés en trois unités :

- les granites proprement dits
- la série migmatitique du Mananara
- les niveaux d'Anjiahely, à dominance ectinitique.

A - Les granites. - Ils montrent une suite de termes classiques grenus plus ou moins planaires allant de diorites et granodiorites quartziques riches en amphibole, biotite et





épidote, à des granites calco-alcalins leucocrates à tendance potassique à biotite et épidote rares. Les termes communs sont granodioritiques à monzonitiques, à biotite-épidote.

Au Nord-Est, là où ils sont recouverts en discordance par la série ectinitique orientale de Sahantaha-Andrarona (groupe de Sahantaha-Manampotsy), les granites montrent, à proximité du contact, des phénomènes rétro-morphiques en accord avec le métamorphisme croissant d'Est en Ouest de ces séries ectinitiques discordantes :

faciès à saussurite chloriteuse à l'Est au contact  
des schistes sériciteux de l'Andrarona,  
faciès à saussurite biotitifère à l'Ouest, au contact  
des micaschistes à disthène de la série de  
Sahantaha.

Cependant, l'hypothèse d'un simple rétro-morphisme des granites contemporain du métamorphisme des séries ectinitiques supérieures ne suffit pas pour expliquer les relations complexes des granites et de leur couverture : présence notamment à la fois de galets de granites dans les niveaux de base de ces séries et de granites recoupants (avec métamorphisme de contact), les uns et les autres d'aspect très semblable à celui des granites cataclastiques et rétro-morphosés sous-jacents.

Les hypothèses complémentaires d'un rétro-morphisme de fin de consolidation des granites, ou d'une mise en place synmétamorphe (contemporaine du métamorphisme principal des séries supérieures), ou d'un nouveau cycle métamorphique peu à moyennement intense s'exerçant sur l'ensemble granite-couverture (déjà métamorphique) et ne se manifestant ainsi que sur le socle granitique sous-jacent, initialement de haut degré métamorphique, paraissent également pouvoir se justifier et s'accorderaient d'ailleurs avec l'idée, tirée de leur



disposition structurale, que les granites d'Antongil correspondent vraisemblablement à un ensemble complexe et très ancien, doté d'une longue histoire géologique.

B - Les migmatites. - Elles sont représentées par des termes oeillés mésocrates dominants à biotite, amphibole et biotite souvent très proches d'aspect des granites. Le passage aux granites est progressif, avec de nombreuses récurrences. L'épaisseur de l'auréole orientée à faciès migmatitique dominant est d'ordre kilométrique (1 à 3 km). Les faciès de migmatites rubanées existent en septa dans les migmatites oeillées et en plus grande abondance dans l'environnement des zones riches en septa ectinitiques ainsi qu'au contact et à l'intérieur des aires synclinoriales à dominance ectinitique.

C - Les niveaux d'Anjiahely. - Les ectinites résiduelles des niveaux d'Anjiahely sont représentées par des successions, de puissance métrique à décamétrique, de niveaux différenciés riches en épidote : quartzites grenus blancs souvent à épidote ou à amphibole, épidotites quartzeuses, amphibolites à épidote, micaschistes quartzeux à muscovite, biotite et disthène, gneiss quartzeux hololeucocrates, ces derniers très caractéristiques, à amphibole et épidote, dans un fond de gneiss plagioclasiques banaux, à oligoclase andésine, et mésocrates à amphibole, biotite, épidote.

D - Structure du groupe de l'Antongil. - Elle s'organise autour des deux môles granitiques anticlinoriaux majeurs de la presque île Masoala et de l'Ivontaka (au Sud de Mananara) de direction générale Nord-Est dominante, surtout nette pour le dôme de l'Ivontaka qui vient s'envoyer progressivement dans la zone interne de Soanierana Ivongo, sous les migmatites oeillées du Mananara. Le dôme de Masoala est au contraire, au





Nord, recouvert en discordance, avec les caractères de rétro-morphisme décrits plus haut, par les séries ectinitiques supérieures du groupe de Sahantaha-Manampotsy.

A l'Ouest des deux dômes granitiques principaux, dans les zones internes de Rantabe, Mananara et Soanierana, les dômes granitiques annexes d'orientation diverse et leur couverture normale migmatitique et ectinitique, montrent une tendance au déversement Est avec des structures très redressées, surtout à l'Ouest du dôme de l'Ivontaka (Sud-Ouest de Mananara) tandis qu'au Sud au niveau de Soanierana et au Nord, dans la zone interne de Rantabe, la structure est plus lâche, dessinant parfois des replis complexes autour des "massifs" granitiques annexes, plus largement étalés.

Un accident important, matérialisé par une succession de plis serrés subverticaux de direction N 80° Ouest à Est-Ouest paraît d'autre part dans le groupe de l'Antongil séparer le bloc Nord (Masoala-zone interne de Rantabe) du bloc Sud (Ivontaka et zones internes de Mananara et de Soanierana); tout se passant comme si le bloc Sud subissait une translation importante, le long d'une zone de dislocation N 80° Ouest, vers l'Est, par rapport au bloc Nord. L'influence de ce mouvement sur les séries supérieures du groupe de Sahantaha-Manampotsy ne paraît marquée plus à l'Ouest que de façon atténuée par le léger rentrant vers l'Est dessiné par la série gneissique d'Antenina au niveau des zones internes de Mananara à Soanierana.

L'accident principal serait donc très ancien, particulier au groupe de l'Antongil. Il faut noter cependant son rejeu jusqu'à une date récente comme le prouve la localisation, à son niveau, du petit graben de la Fahambahy, annexe du fossé d'effondrement quaternaire de la baie d'Antongil.



II - LE GROUPE DE SAHANTAHA-MANAMPOTSY.- Ce groupe correspond :

1- aux séries à dominance ectinitique "orientales" :  
- de la Sahantaha-Andrarona, au Nord et au Nord-Ouest,  
- d'Antenina, à l'Ouest,  
- et de Vavatenina, au Sud et au Sud-Ouest, qui ceinturent, en recouvrement plus ou moins discordant, le groupe de l'Antongil.

2- à une vaste zone continue sur un peu plus de 300 km de migmatites à faciès rubané dominant (migmatites de l'arc d'Ambodiriana aux tampoketsa de l'Est de Mandritsara) qui succède, à l'Ouest et au Sud, aux séries ectinitiques d'Antenina et de Vavatenina.

3- aux séries graphiteuses du Manampotsy-Brickaville, de l'Andribabe-Bakiry et de l'Andranokely, variations lithologiques du Sud au Nord d'un même niveau stratigraphique qui forme une bordure continue de puissance très variable à l'affleurement (5 à 50 km) sur le flanc Ouest de l'arc de migmatites rubanées, ainsi que plusieurs digitations anticlinales importantes au Nord-Ouest, dans le groupe terminal de l'Androna.

A - Séries ectinitiques orientales.- La série de Sahantaha, définie au Nord-Ouest de Maroantsetra, montre à ce niveau une succession bien différenciée avec :

un niveau quartzitique de base (2 à 400 m de puissance) : quartzites et leptynites accessoires.

un niveau moyen silico-alumineux : micaschistes à 2 micas, gneiss à biotite avec disthène ou sillimanite fréquents (puissance d'ordre kilométrique)



un niveau supérieur à tendance calcique : intercalations amphiboliques nombreuses, niveaux de cipolins.

Le graphite est localement présent dans des micaschistes à la base de la série.

Le métamorphisme croît d'Est en Ouest de la zone des micaschistes à disthène et staurotide à celle des gneiss et micaschistes à grenat et sillimanite.

La série de l'Andrarona correspond : 1- à un ensemble moins métamorphique de schistes et quartzites sériciteux qui succède normalement à l'Est dans le synclinal de la Longozabe aux micaschistes à disthène et staurotide de la série de Sahantaha,

et 2- à des placages dispersés identiques avec arkoses et phyllades à la base en recouvrement discordant sur les granites d'Antongil au Sud et à l'extrême Sud-Est.

La série d'Antenina est essentiellement gneissique : gneiss leucocrates à quartzeux à faciès leptynitique à quartz aplati, rare biotite et grenat, à la base, avec intercalations quartzitiques réduites, puis gneiss dominants à biotite grenat, à intercalations amphiboliques, et nombreux niveaux à sillimanite et disthène.

Le graphite est présent à l'état de traces dans de nombreux niveaux de gneiss. Le métamorphisme croît d'Est en Ouest : gneiss à disthène et sillimanite à l'Est, gneiss à sillimanite seule à l'Ouest.

La série de Vavatenina est représentée à l'Est par des micaschistes quartzeux à biotite, à intercalations quartzitiques ou alumineuses à disthène et staurotide.

A l'Ouest apparaissent des bancs à sillimanite et de nombreux niveaux amphiboliques à grenat, et la série mica-





schisteuse passe ensuite progressivement à un ensemble à dominance gneissique (gneiss de la Sahamana) à intercalations ectinitiques diversifiées, identique à la série d'Antenina. Le métamorphisme croît de la zone côtière aux gneiss de la Sahamana, des micaschistes à disthène et staurotide jusqu'aux gneiss à sillimanite et grenat.

B - Migmatites de l'arc Ambodiriana tampoketsa. - Les migmatites rubanées sont représentées à l'Est par des faciès d'épibolites dominants, à trame de gneiss et de micaschistes surmicacés, rappelant les ectinites des séries orientales adjacentes. A l'intérieur des migmatites les septa ectinitiques résiduels réalisent également des associations souvent identiques à celles des séries ectinitiques orientales.

A l'Ouest la migmatisation devient plus homogène, donnant des faciès types d'embréchites rubanées, accessoirement ocellées et granitoïdes.

Le faciès métamorphique des ectinites résiduelles correspond dans l'ensemble à la zone des gneiss à sillimanite et grenat.

C - Séries graphiteuses occidentales. - Les séries graphiteuses occidentales du Manampotsy, de l'Andribabe-Bakiry et de l'Andranokely correspondent à des variations à partir d'une même série stratigraphique à caractère silico-alumineux marqué : séquence quartzique plus ou moins développée, séquence silico-alumineuse (gneiss, leptynites ou migmatites leucocrates) dominante, séquence silico-calciue (amphibolites, pyroxénites et rares cipolins à minéraux), réduite et localement absente. Ces différentes séquences forment des alternances répétées, d'ordre métrique à décamétrique, sur toute la hauteur de la série.



La série du Manampotsy au Sud est surtout gneissique (gneiss à biotite, sillimanite et grenat), avec accessoirement des faciès de migmatites rubanées. Le niveau particulier des "migmatites" à amphibole et grenat de Brickaville, probablement dérivé d'arkoses ou d'un matériel volcano-sédimentaire acide, s'y intercale.

La série de l'Andribabe-Bakiry au centre est à dominance leptynitique. Les leptynites à sillimanite et grenat prolongent à l'affleurement les niveaux de Brickaville.

La série de l'Andranokely au Nord constitue un ensemble complexe de migmatites rubanées, gneiss, leptynites, avec séquences quartzitique et silico-calciue localement bien développées.

La présence de graphite caractérise ces trois séries. Il existe à l'état de traces dans les faciès les plus divers (quartzites, cipolins, pyroxénites, migmatites, gneiss). Mais les concentrations d'ordre économique se situent au niveau de la séquence pélitique : gneiss à biotite du Manampotsy et trame gneissique des migmatites intercalaires, accessoirement.

Le métamorphisme dans l'ensemble du Manampotsy et de l'Andribabe-Bakiry se situe dans la zone des gneiss à sillimanite et grenat. Au Nord, dans l'Andranokely, il atteint localement le faciès granulite à hornblende.

D - Structure du groupe de Sahantaha-Manampotsy. - Les séries de Sahantaha-Andrarona, Antenina et Vavatenina dessinent des aires synclinoriales complexes à coeur très plissé, et à bordures orientales souvent subhorizontales, au contact du groupe de l'Antongil. La discordance lithologique et structurale sur le groupe de l'Antongil est évidente au Nord pour la série, lithologiquement bien différenciée, moyennement ou peu métamorphique, du Sahantaha-Andrarona. Elle est encore





nette, à l'échelle régionale, pour la série d'Antenina, malgré une lithologie moins tranchée et un métamorphisme comparable, de part et d'autre, entre les migmatites du Mananara et les ectinites des niveaux d'Anjiahely du groupe de l'Antongil et les gneiss et migmatites de la série supérieure d'Antenina. Plus au Sud, la série de Vavatenina se superpose dans le détail en concordance structurale apparente, au groupe de l'Antongil. La discontinuité lithologique est cependant encore nette dans la zone côtière entre la série purement micaschisteuse de Vavatenina et les migmatites et gneiss du groupe de l'Antongil. Plus à l'Ouest, elle s'estompe progressivement par le jeu combiné de variations géochimiques et métamorphiques qui font que la série côtière micaschisteuse de Vavatenina passe latéralement à l'Ouest à un ensemble plus différencié et plus complexe de gneiss et micaschistes à sillimanite, disthène et grenat, et à intercalations variées. On aboutit ainsi, au contact de la zone d'ennoyage Ouest extrême de l'Antongil, à la superposition de deux ensembles lithologiquement assez comparables, dans une zone violemment tectonisée, rendant encore plus difficile leur séparation.

L'arc migmatitique d'Ambodiriana aux tampoketsa de l'Est de Mandritsara présente surtout sur sa partie Ouest un caractère anticlinorial net par rapport aux séries ectinitiques orientales.

Au Nord (tampoketsa de l'Est de Mandritsara) ce caractère se traduit par une succession de plis anticlinoriaux serrés, subméridiens, avec tendance au déversement à l'Est.

Dans la zone centrale (Ouest de la série d'Antenina) deux grands dômes anticlinoriaux, plus faiblement ondulés,



d'axe Nord-Est, traduisent vraisemblablement l'influence d'un "socle" sous-jacent (qui se retrouverait à l'affleurement à l'extrême Sud-Ouest dans le noyau "granitique" de la Lomakana, équivalent possible de l'Antongil).

Au niveau de la série de Vavatenina, la zone de virgation vers l'Est, (en direction de la région côtière d'Ambodiriana), des migmatites de la falaise et des tampoketsa se traduit par une succession d'écailles et de plis serrés déversés à l'Est.

Au Sud enfin, dans la région d'Ambodiriana, la structure des migmatites correspond à une succession de rides anticlinales complexes (déjetées ou à amorce de déversement au Nord) de direction Est-Ouest, au coeur desquels s'identifient plusieurs "noyaux" d'Antongil (dômes de Betaka et d'Anjahambe). Entre les rides anticlinales ou en septa dans les migmatites d'Ambodiriana s'intercalent enfin de nombreux niveaux de gneiss et de micaschistes, accessoirement graphiteux, dont la présence constitue un argument en faveur d'une assimilation stratigraphique de la série côtière de Vavatenina à la série graphiteuse du Manampotsy.

III - LE GROUPE DE L'ALAOIRA-ANDRONA.- A - Lithologie.- Ce groupe est constitué par la réunion de la série gneissique et pyroxéno-amphibolique du Beforona-Alaoira au Sud, et de la série de l'Androna, au Nord, à faciès de migmatites épi-bolitiques, à nombreux résidus pyroxéno-amphiboliques, dominantes.

La série du Beforona-Alaoira se définit comme un fond dominant de paragneiss plagioclasiques et calciques, à nombreuses passées amphiboliques et pyroxéniques, bancs silico-alumineux subordonnés, dans lequel s'intercalent d'importantes masses d'orthogneiss basiques : gabbros grenus plus ou



moins orthogneissifiés, de composition généralement noritique, orthopyroxénites et orthoamphibolites.

La série de l'Androna prolonge au Nord la série du Beforona-Alaotra. Elle s'étale très largement à l'Ouest d'une ligne Mandritsara et Antsohihy, dans toute la région de l'Androna jusqu'à la limite Ouest de la couverture sédimentaire Karroo quaternaire.

Le fond en est constitué par des faciès de migmatites rubanées à faciès commun d'épibolites à résidus pyroxéno-amphiboliques, qui dérivent vraisemblablement d'un matériel originel assez comparable à celui du Beforona-Alaotra. Il n'y existe pas cependant de noyaux gabbroïques très importants conservés, comme dans cette dernière série.

Au Nord de Mandritsara s'intercale dans la série de l'Androna un ensemble granitique important constituant le complexe granitique stratoïde de l'Androna, caractérisé par une succession de termes variés : norites, diorites et grano-diorites quartziques à hypersthène et augite, monzonites, granites porphyroïdes, syénites et granites alcalins et calco-alcalins leucocrates. Granites porphyroïdes et granites calco-alcalins sont largement dominants. Compte tenu des ressemblances lithologiques et structurales existant entre ce complexe granitique de l'Androna et les complexes basiques du Beforona-Alaotra, l'hypothèse d'une liaison génétique entre ces deux ensembles magmatiques semble très probable.

B - Structure. - La série du Beforona-Alaotra et la série de l'Androna constituent un groupe terminal superposé aux formations graphiteuses du Manampotsy qui le bordent à l'Est, et qui réapparaissent en rides anticlinales nettes, dans l'Androna.





La position synclinoriale terminale de la série du Beforona-Alaotra, attribuée au complexe terminal Vohiboryen du vieux socle précambrien malgache, a d'ailleurs été mise en évidence dès 1952 par H.BESAIRIE.

Dans l'Alaotra, les noyaux gabbroïques marquent généralement le centre de cuvettes synclinales majeures. Dans l'Androna, le complexe granitique se développe préférentiellement au niveau de structures synclinales largement étalées.



## B - METAMORPHISME - GRANITES ET MIGMATITES

Sur l'ensemble de la région étudiée, le métamorphisme croît à l'échelle régionale d'Est en Ouest, du groupe de l'Antongil au groupe terminal de l'Alaotra-Androna.

C'est un métamorphisme de haute pression de type Barrow, caractérisé par l'abondance du disthène dans tout le secteur oriental, et l'absence totale de cordiérite, à tous les niveaux, même dans les zones à sillimanite, grenat et hypersthène (base du faciès amphibolite et faciès granulite à hornblende) de l'Ouest.

Les isogrades recoupent les diverses unités structurales et lithologiques, indépendamment de la succession stratigraphique, comme le schématise sur la carte hors-texte, la limite subméridienne séparant la zone à grenat et sillimanite à l'Ouest de la zone à sillimanite et disthène à l'Est.

A l'extrême Nord, la série de Sahantaha-Andrarona, d'orientation générale Nord-Est, fait ainsi passer des schistes sériciteux de l'Andrarona à l'extrême Nord-Est aux mica-schistes et gneiss à sillimanite et grenat dans la moitié occidentale du synclinal de Sahantaha à l'Ouest.

De même à l'extrême Sud, la série de Vavatenina, d'orientation générale Est-Ouest, montre une succession régulière d'Est en Ouest depuis les micaschistes à staurotide et disthène dans la zone côtière, par les micaschistes à silli-





manite et disthène de la zone interne moyenne, jusqu'aux gneiss et micaschistes à biotite, grenat et sillimanite de la Sahamana à l'Ouest et au Sud-Ouest, équivalents latéraux des micaschistes côtiers.

A l'Ouest, l'intensité métamorphique est maximale (paragénèses fréquentes du faciès granulite à hornblende):

- le long de la partie occidentale de l'arc migmatitique d'Ambodiriana aux tampoketsa de l'Est de Mandritsara,
- dans le Manampotsy adjacent à l'Ouest,
- autour des complexes granitiques de l'Androna au Nord,
- et plus accessoirement sur la bordure occidentale du synclinorium de Beforona-Alaotra.

A l'extrême Nord-Ouest, le métamorphisme est par contre plus faible dans la partie centrale du synclinorium de la série de l'Androna que sur ses bordures Nord-Ouest (environnement du massif granitique de l'Androna), et Sud (terminaison Nord des granites et des migmatites de l'axe anticlinorial majeur des hauts plateaux de Tananarive (situation planche 27)).

De même dans la partie centrale du synclinorium de Beforona-Alaotra, le métamorphisme est localement légèrement plus faible (zones à staurotide et disthène possibles dans les gneiss du Beforona) que sur la bordure orientale. Il redevient ensuite rapidement maximal à l'Ouest, le long de l'axe anticlinorial des hauts plateaux de Tananarive.

A une échelle plus vaste que celle de la région étudiée du Centre Nord et du Nord-Est, les isogrades subméridiens nettement discordants à l'Est sur l'Antongil et sa couverture ectinitique s'accorderaient donc au contraire avec la direction régionale subméridienne des masses granito-



migmatitiques de la falaise et des hauts plateaux de Tananarive, comme le montre le schéma général de la planche 27.

Pour l'arc migmatitique d'Ambodiriana aux tampoketsa de l'Est de Mandritsara, il faut aussi noter que la limite subméridienne de la zone  $B_{2-3}$  à sillimanite et grenat coïncide pratiquement avec le passage des aires synclinoriales à dominance ectinitique de l'Est aux zones anticlinoriales à dominance de migmatites rubanées de l'Ouest.

Le métamorphisme est maximal dans la série de l'Androna autour des complexes granitiques synclinoriaux du Nord de Mandritsara. On peut penser que ce caractère est dû à la mise en place des granites. Les seules mesures géochronologiques effectuées jusqu'à présent (sur biotite) ne permettent pas d'écarter l'hypothèse d'une mise en place contemporaine de "l'orogénèse" de "500 MA". Cependant, dans le cours de l'étude nous avons développé les arguments lithologiques et structuraux qui militent au contraire en faveur d'une mise en place contemporaine des complexes basiques de l'Alaotra, que les résultats des premières mesures sur roches totales par la méthode Rubidium Strontium permettent d'attribuer à l'orogénèse majeure de 2.700 M.A. Le programme géochronologique en cours de réalisation sur l'Alaotra-Androna apportera peut-être la solution.

Pour les granites du groupe de l'Antongil, leurs caractères rétro-morphiques et leurs relations complexes avec les séries ectinitiques sus-jacentes prouvent qu'il s'agit d'un ensemble doté d'une longue histoire géologique impliquant l'idée de "mises en place" ou de "remobilisations" successives.

La seule mesure sur biotite effectuée par la méthode Rb/Sr sur un granite de ce groupe montre que ce secteur, avec un âge de 450 M.A., a été comme le reste de Madagascar au



moins intéressé par le "rajeunissement" ou l'orogénèse de 500 M.A.

Il faut noter qu'une mesure au Potassium-Argon, également sur une biotite de granite donne un âge plus fort (moins rajeuni ?) de 700 M.A.

Compte tenu principalement de la disposition structurale, plus accessoirement du faible degré métamorphique de l'environnement régional de la masse granitique, ainsi que des arguments (développés plus loin en conclusion) tirés de la répartition régionale des données géochronologiques existantes en fonction du métamorphisme régional, il nous semble improbable que les masses principales granitiques dans l'Antongil, aient pu se mettre en place lors de "l'orogénèse" de 500 M.A. Un programme de géochronologie est en cours de réalisation sur l'Antongil.





C - PETROGENESE ET STRATIGRAPHIE

I - PETROGENESE. - L'essai de reconstitution pétrogénétique des différentes formations du socle peut difficilement être entrepris sans disposer de données analytiques en nombre suffisant.

Nous n'avons fait que l'ébaucher pour les unités les plus évidentes.

La série du synclinorium de Sahantaha avec ses séquences orthoquartzitiques de base, médiane silico-alumineuse et pélitique, silico-calcoïque et calcoïque terminale, correspond à une succession positive normale caractéristique des séries à faciès épicontinental. Les deux premières séquences atténuées se retrouvent dans la partie orientale de la série d'Antenina : gneiss leucocrates à tendance arkosique et intercalations quartzitiques à la base, puis gneiss silico-alumineux, accessoirement graphiteux largement dominants tandis que les intercalations amphiboliques grenatifères deviennent abondantes vers le sommet et surtout à l'Ouest de la série, en même temps que les gneiss alumineux à biotite et grenat tendent à faire place à des types de gneiss plagioclasiques mésocrates à biotite amphibole qui constituent ensuite plus à l'Ouest, la trame dominante des masses de migmatites épibolitiques.



Dans la série de Vavatenina, les arguments pétrographiques et les quelques résultats chimiques dont nous disposons suggèrent une variation géochimique d'Est en Ouest pouvant faire passer d'une série de micaschistes côtiers à composition de shales à des termes extrêmes de gneiss, dans la zone interne, à composition de grauwackes.

La mise en évidence de variations géochimiques originelles d'Est en Ouest dans les séries ectinitiques orientales ne permet pas d'affirmer par analogie que le passage progressif à l'Ouest de ces séries ectinitiques au complexe migmatitique à faciès rubané n'est pas dû, autant à de telles variations qu'à l'augmentation progressive du métamorphisme d'Est en Ouest.

La série graphiteuse du Manampotsy, avec ses successions, présente les caractères d'un flysh à dominance pélitique et impuretés charbonneuses, dans lequel s'intercalent vers le sommet les niveaux de Brickaville qui passent au Nord à des formations leptynitiques (arkoses ou matériel d'origine volcanique ?).

Les séries graphiteuses de l'Andribabe-Bakiry et de l'Andranokely sont des variations latérales vers le Nord à caractère leptynitique ou migmatitique marqué du Manampotsy.

La série terminale "calco-ferro-magnésienne" du Beforona-Alaotra, avec un fond paragneissique de gneiss à biotite et biotite hornblende à niveaux nombreux mais peu puissants, feldspathiques, de gneiss à pyroxène, de pyroxénites et d'amphibolites, correspond à une composition dominante de grauwackes avec quelques récurrences pélitiques silico-alumineuses, et d'assez nombreuses intercalations caractéristiques de quartzites à magnétite de puissance métrique. Dans ce fond paragneissique s'intercalent de nombreux niveaux orthogneissiques stratoïdes : gabbros plus ou moins ortho-





gneissifiés, orthopyroxénites et orthoamphibolites à tendance noritique. La série du Beforona-Alaotra, paraît ainsi représenter une association originelle de grauwackes à fréquentes passées silico-calciques, et de nombreuses intercalations de roches ignées basiques. Elle présente ainsi les principaux caractères de la sédimentation géosynclinale typique, plus précisément d'un matériel eugéosynclinal. La série de l'Androna, au Nord, en est une variation plus migmatitique et sans doute également à l'origine dans l'ensemble plus acide : parallèle par exemple, entre le complexe magmatique à dominance granitique de l'Androna et le complexe essentiellement basique de l'Alaotra-Beforona.

II - STRATIGRAPHIE.- La disposition structurale conduit à un schéma simple, avec d'Ouest en Est :

- le vaste sillon synclinorial du Beforona-Alaotra-Androna,
- l'arc anticlinorial de migmatites rubanées de la falaise,
- les séries ectinitiques synclinoriales orientales de Sahantaha-Andrarona, d'Antenina et de Vavatenina,
- le groupe granito-migmatitique, anticlinorial, de l'Antongil.

On peut être tenté en première approximation d'assimiler stratigraphiquement d'une part les grandes unités synclinoriales ainsi définies : Beforona-Alaotra et séries ectinitiques orientales, et d'autre part les grandes formations anticlinoriales : migmatites de la falaise et groupe de l'Antongil.

L'assimilation, de part et d'autre de l'arc anticlinorial de la falaise, des formations synclinoriales du Beforona-Alaotra-Androna aux séries ectinitiques synclinoriales



orientales, compte tenu de la polarité (marquée par la tendance au déversement à l'Est dans l'Alaotra-Androna et les migmatites de la falaise), et des caractères pétrogénétiques énumérés plus haut (caractère en particulier eugéosynclinal de la série du Beforona-Alaotra, et épicontinental à l'opposé de la Sahantaha), pourrait en outre inciter à voir dans cette disposition le schéma classique, de part et d'autre des migmatites de la falaise faisant fonction de socle, d'un ensemble eugéosynclinal-miogéosynclinal, ce dernier plus ou moins discordant à l'Est sur le groupe granito-migmatitique de l'Antongil.

Ce schéma n'est cependant pas satisfaisant ; en effet en premier lieu, le caractère miogéosynclinal type de la série de Sahantaha n'est pas évident dans les séries du Sud : série Antenina où les orthogneiss basiques abondent, et série de Vavatenina.

D'autre part, il existe, surtout au contact des migmatites de la falaise et des séries ectinitiques orientales, de nombreuses preuves d'un passage latéral en continuité, impliquant que les ectinites des séries orientales peuvent être, au moins en partie, stratigraphiquement équivalentes du matériel qui a donné naissance aux migmatites de la falaise.

A l'inverse, à l'Ouest, les formations pyroxéno-amphiboliques du groupe de l'Alaotra-Androna se superposent, tout le long de leurs bordures orientales, aux formations graphiteuses du Manampotsy, de l'Andribabe-Bakiry et de l'Andranokely, elles-mêmes juxtaposées à l'Est aux migmatites rubanées de la falaise.

L'équivalent stratigraphique des séries ectinitiques orientales paraît donc devoir se situer au maximum au niveau des séries graphiteuses occidentales, et accessoirement à celui des migmatites rubanées sous-jacentes, plutôt qu'à celui



du remplissage pyroxéno-amphibolique du sillon terminal de l'Alaoatra-Androna.

Une série d'arguments lithologiques et structuraux s'oppose également à l'assimilation stratigraphique des deux grands ensembles anticlinoriaux migmatitiques de la falaise et du groupe de l'Antongil.

En premier lieu le fait que les séries ectinitiques orientales se fondent progressivement à l'Ouest dans les migmatites de la falaise et se superposent au contraire, à l'Est en discordance plus ou moins nette, au groupe de l'Antongil.

Abstraction faite de ce fait essentiel, les migmatites rubanées de la falaise sont également lithologiquement très différentes du groupe granito-migmatitique de l'Antongil, et il est difficile de voir dans cette différence le résultat de variations géochimiques originelles dans un même niveau stratigraphique, amplifiées par exemple par une situation actuelle dans un contexte métamorphique différent. En effet dans la zone côtière d'Ambodiriana, c'est-à-dire dans le même contexte métamorphique que le groupe de l'Antongil, les migmatites de la falaise gardent leur caractère rubané dominant, tandis que des noyaux à faciès Antongil ont pu être, en plusieurs points, identifiés au coeur de structures anticlinales de migmatites rubanées.

Cette disposition paraît donc devoir confirmer pour le groupe granito-migmatitique de l'Antongil une origine à partir d'un matériel originel différent et plus ancien que celui ayant donné naissance aux migmatites rubanées de l'arc anticlinorial Ambodiriana-falaise.

En définitive, le schéma stratigraphique paraît donc devoir s'ordonner comme suit :





1- à la base le groupe granito-migmatitique de l'Antongil,

2- au-dessus, le groupe à dominance silico-alumineuse de Sahantaha-Manampotsy, organisé autour de l'arc de migmatites à faciès rubané dominant (zone de cordillère probable) d'Ambodiriana-tampoketsa de Mandritsara et, flanqué, à l'Ouest, des séries graphiteuses (Manampotsy, Andribabe-Bakiry et Andranokely), et à l'Est, des séries ectinitiques orientales de Sahantaha-Andrarona, Antenina et Vavatenina, plus ou moins discordantes sur l'Antongil.

2'-enfin, en position terminal, le groupe à dominance pyroxéno-amphibolique de l'Alaotra-Androna.

Ce schéma simplifié appelle néanmoins deux réserves importantes :

a) il est probable d'abord que dans sa cartographie actuelle, le groupe de l'Antongil englobe des lambeaux des séries ectinitiques orientales, indifférenciables à l'échelle des levés réalisés, des ectinites des formations terminales à dominance ectinitique du groupe de l'Antongil (niveaux d'Anjiahely).

L'hypothèse extrême de niveaux d'Anjiahely représentant des dépôts précurseurs du système supérieur Sahantaha-Manampotsy et Alaotra-Androna (dont ils seraient séparés par une phase tectonique précise plus ou moins marquée) peut se concevoir. Le vieux système de l'Antongil se trouvant alors limité aux masses granitomigmatitiques. Compte tenu de l'ensemble des données lithologiques et structurales, cette hypothèse nous paraît plus improbable que le schéma présenté ici.

b) la superposition de l'ensemble à dominance pyroxéno-amphibolique de l'Alaotra-Androna aux séries graphiteuses, bien nette sur la plus grande partie de la bordure orientale



du sillon synclinorial Beforona-Alaotra-Androna où les deux ensembles ont leur développement maximum. Elle est moins évidente sur les terminaisons Nord et Sud de ce sillon, notamment au Nord dans la zone d'étalement de la série de Sahantaha.

Bien que les séries de bordure de type Sahantaha-Andrarona soient surtout à notre sens les équivalents stratigraphiques des séries occidentales de type Manampotsy ou des migmatites rubanées sous-jacentes, on peut concevoir que dans les zones de fermeture de ces sillons, où les séries sont plus différenciées mais incomplètes, et compte tenu de la polarité géosynclinale qu'une partie des séries ectinitiques de la bordure orientale puisse localement également représenter un équivalent stratigraphique du complexe terminal central du Beforona-Alaotra-Androna. Mais la géologie de terrain ne permet pas, pour le moment, d'en apporter la preuve.









Le Vohibory terminal côtier disparaît. Une partie des terrains antérieurement attribués à cet ensemble constitue le nouveau groupe de base de l'Antongil. Le reste des anciennes formations vohiboryennes côtières ainsi que la série "récente" de l'Andrarona est rangé dans le groupe intermédiaire silico-alumineux du Sahantaha-Manampotsy qui, englobant les principales séries graphiteuses de la région, s'apparente dans son ensemble au système médian du Graphite de H.BESAIRIE.

A l'Ouest, au-dessus de cet ensemble graphiteux médian les formations pyroxéno-amphiboliques du Beforona-Alaoatra conservent leur position terminale. Elles sont prolongées au Nord par leurs équivalents latéraux de la "fosse majeure" de l'Androna. La disposition structurale du groupe s'accorde ainsi avec la définition stratigraphique du Vohibory terminal de H.BESAIRIE.

L'Antongil et l'Androyen occupent, dans ce schéma, une position basale semblable par rapport aux formations graphiteuses intermédiaires. Il n'y a cependant pas d'autre point de comparaison entre le même granito-migmatitique à tendance mésocrate rétro-morphosé de l'Antongil et l'ensemble ultramétamorphique complexe, riche en leptynites alumineuses de l'Androyen de l'extrême Sud.

Leur assimilation apparaît donc, pour l'instant, très problématique.

II - ASPECT GEOCHRONOLOGIQUE. - Les terrains les plus récents du Centre Nord et du Nord-Est sont dans notre schéma, ceux du synclinorium Beforona-Alaoatra-Androna. Ils s'apparentent au système stratigraphique terminal du Vohibory.

D'après la chronologie établie par H.BESAIRIE, l'ensemble cristallin du Nord-Est se placerait donc dans le vieux précambrien malgache, métamorphisé et plissé lors de l'oro-



génèse majeure de 2.600 M.A. On sait d'autre part, comme l'atteste en particulier la généralité des âges sur biotites autour de 500 M.A., que l'ensemble du socle cristallin malgache a été intéressé par l'événement "pan africain" de 500 MA, Madagascar pouvant être ainsi parallélisée, plus précisément, avec la zone active à cette époque du Sud-Ouest Africain (ou "Mozambic Belt").

Sur la planche 27, ont été reportées les mesures géochronologiques intéressant le centre Nord et le Nord-Est.

Les mesures sur biotite au strontium conventionnel donnent des âges se rapportant à l'événement de 500 M.A. Les mesures Plomb-alpha sur zircon des âges variables compris entre 550 et 3.200 M.A.

La question a été posée, au début de cette étude, lors de l'assimilation des schistes sériciteux de l'Andrarona, considérés auparavant comme "récents", aux séries métamorphiques internes (graphiteuses et "vohiboryennes") considérées comme antérieures à l'orogénèse de 2.600 M.A., de l'appartenance possible d'une importante partie de ces formations métamorphiques internes à des dépôts plus récents peut être contemporains de l'orogénèse de 500 M.A. Rien n'interdisant à priori de considérer les âges anciens au zircon comme hérités.

Cette éventualité ne peut plus être envisagée. En effet une série de mesures (isochrones) récente sur roches totales par la méthode au Rubidium-Strontium vient de donner un âge de l'ordre de 2.700 M.A. pour le massif charnockitique à coeur gabbroïque de Manakambahiny(1), interstratifié

---

(1) Résultat provisoire sur une seule attaque de mesures de Mme VACHETTE, à Clermont, sur des échantillons de M. RAZAFINIPARANY.





dans les gneiss de la série terminale du synclinorium de Beforona-Alaotra. L'âge au Plomb-alpha de 2.700 M.A. donné par un zircon des gneiss de Beforona est donc valable, et par analogie les âges zircons anciens des gneiss de Foulpointe et de la migmatite de Fontsimaro, dans la zone côtière d'Ambodiriana (situation planche 27).

L'appartenance de la série "vohiboryenne" terminale du Beforona-Alaotra et par raison de continuité, celle des terrains sous-jacents (c'est-à-dire de la totalité du Nord-Est et du Centre Est) à "l'orogénèse" majeure de 2.600 M.A., conformément d'ailleurs à la conception classique présentée par H.BESAIRIE, se trouve donc confirmée ici de façon absolue.

Les zircons du granite du Brickaville, interstratifiés dans la série graphiteuse du Manampotsy à la base du synclinorium du Beforona-Alaotra donnent cependant un âge au plomb-alpha de 560 M.A., qui peut être comparé à l'âge des zircons (550 M.A. Pb-~~x~~) et de la roche totale 540 M.A. : Rb-Sr) des granites stratoïdes d'Andriba qui occupent une position stratigraphique équivalente à la base du synclinorium d'Andriamena, homologue de celui de Beforona-Alaotra (situation planche 27).

Une interprétation de ces âges zircons jeunes a été donnée par L.DELBOS en 1964 dans sa note sur la "Signification et importance du cycle récent de 500 M.A. dans le Précambrien de Madagascar". La concordance fréquente des âges biotite, zircon et roches totales, au niveau des granites stratoïdes des hautes terres du centre de Madagascar et de nombreuses migmatites permet, selon L.DELBOS, de définir le cycle récent de 500 M.A. comme :

- une granitisation stratoïde de grande ampleur d'âge réel de 550 M.A., caractérisée par "une mise en place tardive"



de granites et de migmatites stratoïdes dans les vieilles séries cristallophylliennes.

- une minéralisation pegmatitique de 500 M.A. "seule phase pegmatitique connue pour l'instant à Madagascar".

- un rajeunissement général ayant affecté les biotites de l'ensemble des formations cristallophylliennes, daté de 460 M.A.

Pour le Brickaville, attribuable par son âge zircon à cette granitisation stratoïde 550 M.A., il nous paraît difficile de voir dans ce phénomène autre chose qu'une mobilisation, ou une remobilisation sur place, à 550 M.A., d'un matériel plus ancien.

En effet, au Nord, les granites porphyroblastiques de Brickaville passent en continuité à des termes chimiquement semblables, granoblastiques (gneissiques et leptynitiques) parties intégrantes de la série du Manampotsy, série au moins aussi ancienne que la série terminale du Beforona-Alaotra, maintenant datée avec certitude de 2.700 M.A.

Il serait intéressant de pouvoir effectuer une série de mesures en roches totales à la fois sur les termes porphyroblastiques et granoblastiques du Brickaville, et notamment sur les termes gneissico-leptynitiques de la feuille Vohimenakely situés exactement au niveau et à l'Est du massif charnockitique de Manakambahiny. On peut espérer que les termes granoblastiques auront conservé, à ce niveau, comme les roches sus-jacentes du Beforona-Alaotra, leur âge ancien.

Les granites d'Andriba sont également interprétés par G.JOURDE, comme partie intégrante de sa "série ancienne" antérieure à la série d'Andriamena, homologue du Beforona-Alaotra, et G.JOURDE met l'accent sur le passage de ces granites stratoïdes à des faciès leptynitiques à quartz aplati.





L'hypothèse d'une réhomogénéisation ou d'une remobilisation de roches plus anciennes, appartenant au moins à l'orogénèse de 2.700 M.A., lors de la "granitisation de 550 M.A.", paraît donc la plus plausible.

La localisation préférentielle des âges récents concordants sur roches totales, biotites et zircons dans la zone centrale de l'île, indépendamment, à l'échelle régionale, de la stratigraphie des terrains anciens mais en accord avec l'augmentation progressive du métamorphisme vers ce secteur (mise en relief notamment par les isogrades subméridiens discordants de la région Nord-Est) s'accorde avec l'idée d'un flux thermique maximal le long de la zone axiale actuelle de l'île, qui serait la manifestation la plus importante, dans la zone centrale de Madagascar, de "l'événement de 500 M.A."

Du point de vue pratique, c'est évidemment sur les bordures externes du socle cristallin, les moins métamorphiques, (ou peut-être seules les biotites ont été rajeunies), que l'on a le plus de chances de retrouver des âges anciens conservés (antérieurs à l'orogénèse de 2.700 M.A. du système terminal de l'Alaotra-Androna).

Il serait facile en premier lieu de vérifier à l'Est que les gneiss et migmatites côtières de la région d'Ambodiriana, à vieux zircons et biotites rajeunies, dans un contexte métamorphique moins élevé que dans l'Alaotra, ont pu échapper, en roches totales (Rubidium-Strontium) au rajeunissement de 550 M.A.

Les mesures sur l'Antongil devraient également donner des résultats intéressants. A l'Ouest de Tananarive, la zone la plus favorable est celle du Bongolava, en bordure du sédimentaire, où les granites sont d'ailleurs souvent épidotisés et plus ou moins cataclastiques, comme dans l'Antongil.



GRANITES DE L'ANDRONA

Biotite Granite porphyroïde

Rb/Sr : 449 MA  $\pm$  7

Biotite Syénite à pyroxène

Rb/Sr : 440 MA  $\pm$  8

Biotite Syénite

Rb/Sr : 490 MA  $\pm$  12

Biotite Diorite malgachitique

Rb/Sr : 473 MA  $\pm$  7

Biotite Gabbro malgachitique

Rb/Sr : 467 MA  $\pm$  7

Biotite Granite filonien

Rb/Sr : 403 MA  $\pm$  10GRANITES STRATOÏDES D'ANDRIBA

Zircon Granite

Pb/ $\alpha$  : 550 MA

ROCHE TOTALE Granite

Rb/Sr : 540 MA

TANANARIVE

Zircon Granite migmatitique

Pb/ $\alpha$  : 550 MA

Zircon enclave charnockite

Pb/ $\alpha$  : 820 MAZircon Filon A<sup>to</sup> miranty  
(granite) : 1050 MA

VOHIBORY S.S.

Roche totale  
Granite rose filonien  
Rb/Sr : 3020 MA

Faille

Sédiments récents  
(lacustre, alluvions)

Volcanismes et intrusions

Sédimentaire  
Karoo-quaternaireBiotite Granite  
K/Ar : 770 MABiotite Granite  
Rb/Sr : 450 MARoche totale Charnockite  
Rb/Sr : 2700 MABiotite Gneiss  
Rb/Sr : 450 MAZircon Gneiss  
Pb/ $\alpha$  : 2749 MABiotite Migmatite  
Rb/Sr : 456 MAZircon Migmatite  
Pb/ $\alpha$  : 3204 MAZircon Granite de Brickaville  
Pb/ $\alpha$  : 560 MAZircon Gneiss du Beforona  
Pb/ $\alpha$  : 2700 MA  
Biotite Rb/Sr : 481 MA

Granites divers

Séries terminales  
ou  
séries à dominance  
ectinitique, accessoirement  
graphiteuses, d'âges divers possibles  
(graphite à terminal)Série schisto-  
quartzo-  
calcaireAndroyen ultra-  
métamorphiqueSéries graphiteuses  
dominance ectinitiqueGranites et migmatites  
(Falaise, campoketsa,  
hauts plateaux, etc)

Antongil



BIBLIOGRAPHIE

- ALSAC C., 1965.- Etude géologique et prospection au 1/100.000° des feuilles Ileanja, Ambodimany, Befandriana Nord. Trav.Bur.Géol.Madag., A.2027.
- ALSAC C., HOTTIN G., JOO' J., LIANDRAT E., RASOAMAHENINA J., 1965.- Etude géologique de l'Androna. CR.Sem.Géol., Tananarive p.71-76.
- ALSAC C., 1966.- Etude géologique des feuilles Miarinarivo et Maroadabo. Trav.Bur.Géol.Madag., n°123.
- ALSAC C., 1966.- Etude géologique de la région de Miarinarivo et Maroadabo au Nord d'Andilamena. CR. Sem.Géol.Tananarive, p.79-84.
- ARNOULD , 1961.- Etude géologique des migmatites et des granites précambriens du Nord-Est de la Côte d'Ivoire et de la Haute Volta méridionale. Mém.BRGM n°3-174 p, 44 fig, 12 planches h.t.
- AUBOIN J., 1959.- A propos d'un centenaire. Les aventures de la notion de géosynclinal. Revue de géographie physique et de géologie dynamique. Juillet-Septembre 1959, 2° série, Vol.II fasc.3, année 1958-59.
- AUROUZE J., 1951.- Sur la constitution géologique des régions de Mananara et Marotandrano. CR.Ac.Sc., Paris, t.232, p.1861-1862.
- AUROUZE J., 1951.- Etude géologique des feuilles Marotandrano-Mananara. Trav.Bur.Géol.Madag., N°21.



- AUROUZE J., 1952.- Sur la constitution géologique des régions de Fénérive et Vavatenina. CR.Ac.Sc., Paris, t.234,p.1703-1704.
- AUROUZE J., 1952.- Etude géologique des feuilles Vavatenina-Fénérive. Trav.Bur.Géol.Madag., n°30.
- AUROUZE J., 1952.- Sur la constitution géologique de l'île Sainte Marie de Madagascar. CRS.Soc.Géol. Fr., n°8, p.137-138.
- BARRERE , 1965.- Le groupe précambrien de l'Amsaga entre Atar et Akjoujt (Mauritanie). Thèse Clermont-Ferrand. Mém.BRGM n°42, 1966.
- BASSOT , 1963.- Etude géologique du Sénégal oriental et de ses confins guinéo-maliens. 2t,331 p. 2 cartes h.t. Thèse Clermont-Fd.
- BATTISTINI.,1964.- Les caractères morphologiques du secteur littoral compris entre Foulpointe et Maroantsetra. Madagascar. Revue de géographie n°4, Janvier-Juin 1964.
- BEHIER J., 1954.- Etude des minéralisations des plages de Madagascar. Trav.Bur.Géol.Madag., n°55.
- BERTUCAT M., CONRAUX J., 1963.- Contribution à la géologie de la côte Est de Madagascar (Travaux BRGM). Alaotra-Sakanilo et Moramanga-Ampasinambo. Ann.Géol.Madag.,XXXIII,p.119-124.
- BERTUCAT M., CONRAUX J., 1963.- Contribution à la géologie de la côte Est de Madagascar à la suite des travaux de prospection BRGM pour nickel. Ann.Géol.Madag.,XXXIII,p.119-124.
- BERTUCAT M.,1964.- Contribution à la géologie de Madagascar entre les régions du lac Alaotra et de Mananjary. CR.Sem.Géol.Tananarive p.73-76.
- BERTUCAT M., HOTTIN G., 1966.- Le sédimentaire des tampoeksa du Centre Nord de Madagascar. CR.Sem. Géol., Tananarive p.34-37.
- BERTUCAT M., JOURDE G., 1966.- Considérations sur la stratigraphie du socle malgache. CR.Sem.Géol., Tananarive,p.107-116.

- BESAIRIE H., 1949.- Documentation sur l'or à Madagascar.  
Doc.Bur.Géol.Madag., n°6.
- BESAIRIE H., GUIGUES J., LAPLAINE L. et LAUTEL R., 1951.- Le  
graphite à Madagascar. Trav.Bur.Géol.  
Madag. n°27.
- BESAIRIE H., 1954.- Le Précambrien de Madagascar. CR.XIX°  
Congrès géol.intern.Alger,XX,p.343.
- BESAIRIE H., 1954.- Carte minière et des indices de Mada-  
gascar. Notices explicatives. Trav.Bur.  
Géol.Madag.,n°52.
- BESAIRIE H., COLLIGNON M., 1956.- Lexique stratigraphique  
international. Madagascar.Vol.IV.,  
fasc.11.CNRS, Paris.
- BESAIRIE H., BOULANGER J., BRENON P., BUSSIÈRE P., EMBERGER  
A., de SAINT OURS J., 1957.- Le volcanisme à Madagascar.  
Trav.Bur.Géol.Madag.,n°83.
- BESAIRIE H., 1960.- Monographie géologique de Madagascar.in  
Lexique stratigraphique international,  
vol.IV ; fasc.11-bis, p.5-159.CNRS,  
Paris.
- BESAIRIE H., 1963.- La géochronologie de Madagascar en 1962.  
Ann.Géol.Madag.XXXIII,p.11-16.
- BESAIRIE H., 1966.- Gîtes minéraux de Madagascar.Ann.Géol.  
Madag.XXXIV.
- BIROT P., 1963.- Contribution à l'étude morphologique des  
"plateaux" du centre de Madagascar.  
Revue de géographie. Madagascar n°3.  
Juillet-Décembre 1963..
- BLACK R., 1967.- Sur l'ordonnance des chaînes métamor-  
phiques en Afrique Occidentale. Chroni-  
que des Mines et de la Recherche Miniè-  
re, n°364, Juin 1967, p.225-238.
- BOULANGER J., CLAIR G., DUDAN R., 1962.- Rapport de fin de  
prospection de la région Ambatondrazaka-  
Andilamena. Arch.BRGM.
- BOUSTEYAK L., 1967.- Reconnaissance pétrographique des for-  
mations stannifères dans la région d'Iho-  
sy. Rapport annuel Serv.Géol.Madag.,  
1967, p.111.

- BRENON P., 1949.- Etude géologique de la feuille lac Alaotra. Trav.Bur.Géol.Madag.,n°8.
- BRENON P., 1951.- Etude géologique de la feuille Andilamena. Trav.Bur.Géol.Madag.n°23.
- BRENON P., 1952.- Contribution à l'étude pétrographique et géologique des terrains cristallins de Madagascar dans le bassin de la Bemarivo et de la Fanambana (côte Nord-Est). Thèse Nancy.
- BRENON P., 1952.- Contribution géologique et pétrographique de l'Antsianaka et de l'Anosimbohangy, in Thèse Nancy.
- BRENON P., 1953.- Etude des sondages de la Sahabe (Alaotra). Rapp.ann.Serv.Géol.Madag.,p.141-142.
- BRENON P., 1956.- Sur l'âge des formations volcaniques de la côte Nord-Est de Madagascar et des sédiments associés. Arch.Serv.Géol.Madag., A.1135.
- BUSSIÈRE P., 1959.- Etude géologique des feuilles Vavatenina-Fénérive. Trav.Bur.Géol.Madag.,n°90.
- CURTIS C.E., 1963.- Rapport sur une étude aéromagnétique dans le Nord-Est de Madagascar (Assistance technique U.S.A.). Traduction BESAIRIE et NOIZET. Arch.Serv.Géol.Madag., A.1915.
- DELBOS L., 1957.- Les granites des Ambatomiranty, de Behenjy et des Vavavato, près de Tananarive à Madagascar. Thèse Clermont-Fd.
- DELBOS L., 1958.- Notice explicative sur la feuille Anivorano Sud. Arch.Serv.Géol.Madag., U.46.
- DELBOS L., 1960.- Les granites précambrien à Madagascar. Bull.Soc.Géol.Fr., 7° série, t.II, p.790-795.
- DELBOS L., 1959.- Essai de classification des granites malgaches. Trav.Eur.Géol.Madag., n°93.
- DELBOS L., 1964.- Signification et importance du cycle récent de 500 MA dans le Précambrien malgache. Ann.Fac.Sc.Clermont-Fd, n°25, p.39-52.

- DELBOS L., 1964.- Mesures d'âges absolus sur les séries précambriennes de Madagascar. CR.Ac.Sc., Paris, t.258, p.1853-1855.
- DELBOS L., 1965.- Sur l'âge de quelques minéralisations de Madagascar. Bull.BRGM., n°1.
- DIDIER J., 1964.- Etude pétrographique des enclaves de quelques granites du Massif Central français. Ann.Fac.Sc.Clermont-Fd, 7° fasc., n°23.
- DONNOT M., 1963.- Les complexes intrusifs alcalins d'Ampasindava. Volcanisme et cristallin de l'Ankaizina (Madag.). Ann.Géol.Madag. XXXIII p.81-87.
- DOTTIN O., 1960.- Etude géologique et prospection des feuilles Marovoara-Mananara. Trav.Bur.Géol. Madag., n°96.
- EIJKELBOOM G., 1965.- Le complexe basique de Beheloka. CR. Sem.Géol. Tananarive, p.65-66.
- FOISSY B., 1963.- Rapport de fin de prospection de la région de Maroantsetra. Arch.BRGM.
- FOISSY B., 1963.- Géologie de la région Nord-Ouest de Maroantsetra à Madagascar. Ann.Géol.Madag. XXXIII, p.97-101.
- GIRAUD P., 1960.- Les roches basiques d'Andriamena et leur minéralisation chromifère. Ann.Géol. Madag. XXVII.
- GIRAUDON R., 1959.- Géologie et prospection de la feuille Maroserana. Trav.Bur.Géol.Madag., n°95.
- GIRAUDON R., 1959.- Les roches ultrabasiques de la région de Tamatave. Mode de gisement, origine et minéralisation. Bull.Soc.Géol.Fr., (7), t.1., n°6, p.608-610.
- GIRAUDON R., 1965.- La série basique de la Rianila, le complexe gabbro-syénitique de l'Iharandahy et leur cadre géologique sur la côte orientale de Madagascar. Mém.BRGM. n°37, 220 p., 6-pl.



- GUIGUES J., 1950.- Etude géologique des feuilles Anosibe-Vatomandry. Trav.Bur.Géol.Madag.n°13.
- GUIGUES J., 1952.- Les terrains cristallins de la partie centrale de Madagascar. Thèse Nancy.
- GUITTARD G., 1958.- Gneiss acide d'origine rhyolitique dans le massif du Canigou (Pyr. Or). CR.Sem. Géol.Fr.n°2,p.23-27.
- HENRY B., JOURDE G., 1964.- Etude géologique de la région Nord du massif du Tsaratanàna (Nord de Madagascar). CR.Sem.Géol., Tananarive, 1964.
- HOTTIN G., 1959.- Les plages à ilménite de la côte Est de Madagascar. Arch.Serv.Géol.Madag. A.1513.
- HOTTIN G., 1960.- Etude géologique et prospection des feuilles Antenina, Manompa et Antanambe. Trav. Bur.Géol.Madag.,n°97.
- HOTTIN G., 1961.- Recherches de bauxite sur les tampoketsa de la région centrale. Trav.Bur.Géol. Madag.,n°104.
- HOTTIN G., 1963.- Les granites d'Antongil (Nord- Est de Madagascar). Ann.Géol.Madag.,XXXIII, p.103-108.
- HOTTIN G., LIANDRAT E., 1963.- Examen au sol des principales anomalies magnétiques des cartes Soanierana Ivongo-Mananara. Arch.Serv.Géol. Madag. A.1930.
- HOTTIN G., LIANDRAT E., .- Géologie de la presqu'île Masoala. Trav.Bur.Géol.Madag.n°118.
- HOTTIN G., 1965.- Etude géologique et prospection des feuilles au 1/100.000 Mandritsara-Antsahamirindola. Arch.Serv.Géol.Madag., A.2023.
- HOTTIN G., 1965.- Sur des gisements de quartz de la région de Mananara. CR.Sem.Géol.,Tananarive, p.113-116.
- HOTTIN G., 1965.- Prospection des massifs ultrabasiques de la région de la feuille Mananara. Arch. Serv.Géol.Madag. A.2060.



- HOTTIN G., 1966.- Contribution à la géologie du Nord-Est de Madagascar. CR.Sem.Géol.; Tananarive, p.85-92.
- HOTTIN G., 1966.- Etude géologique et prospection de la feuille Ambodihazomamy. Rapp.Ann.Serv. Géol.Madag., 10 p.
- HOTTIN G., 1967.- Etude géologique et prospection des feuilles Vohimenakley, Vavatenina et Fé-nérive. Trav.Bur.Géol.Madag., n°126.
- JOO' J., 1965.- Etude géologique et prospection des feuilles au 1/100.000 Ampasimatera-Marovato-Andohajango. Arch.Serv.Géol.Madag., A.2020.
- JOURDE G., 1963.- Le haut Sambirano et les massifs du Tsaratanàna et de l'Amborona à Madagascar. Ann.Géol.Madag.,XXXIII, p.89-95.
- JOURDE G., 1967.- Essai d'interprétation stratigraphique, tectonique et paléogéographique du socle à la latitude d'Andriamena. CR.Sem.Géol. 1967, Tananarive, p.43-47.
- JUNG J., 1958.- Précis de pétrographie. Masson et Co Paris.
- JUNG J., ROQUES M., 1936.- Les zones d'isométamorphisme dans les terrains cristallophylliens du Massif Central français, Revue Sc.Nat.Auvergne, Clermont,vol:2,fasc.1-2,p.38-85.
- LACROIX A., 1921-1923.- Minéralogie de Madagascar. Paris.
- LACROIX A., 1956.- Notes posthumes. Trav.Bur.Géol.Madag., n°78.
- LACROIX A., 1957.- Les dolérites. Notes inédites. Arch.Serv. Géol.Madag.,A.1220.
- LAPADU-HARGUES P., 1945.- Sur l'existence et la nature de l'apport chimique dans certaines séries cristallophylliennes. Bull.Soc.Géol.Fr., 5° série,t.15,p.256-310.
- LAPADU-HARGUES P., 1953.- Sur la composition chimique moyenne des amphibolites. Bull.Soc.Géol.Fr. (6),t.3,p.153-173.

- LAPADU-HARGUES P., 1957.- Essai sur une classification génétique des massifs granitiques, Rev.Sc.Nat. Auvergne, vol.23, fasc.1-2.
- LAPLAINE L., 1950.- Etude géologique des feuilles Moramanga-Brickaville. Trav.Bur.Géol.Madag., n°14.
- LAPLAINE L., 1957.- Etude géologique du massif cristallin malgache à la latitude de Tananarive. Ann. Géol.Serv. des Mines, Tananarive, n°XXIV.
- LAUTEL R., 1951.- Etude géologique des feuilles Ambatondrazaka, Ambodilazana, Tamatave. Trav.Bur. Géol.Madag., n°22.
- LAUTEL R., 1953.- Etude géologique du socle cristallin de Madagascar à la latitude de Tamatave. Thèse Clermont-Fd.
- LENOBLE A., 1936.- Notice explicative de la carte Presqu'île Masoala. Serv.Géol.Tananarive.
- LENOBLE A., 1936.- Notice explicative et carte géologique Antalaha. Serv.Géol.Tananarive.
- LENOBLE A., 1944.- Rapport sur le gisement de nickel d'Ambo-lotarabe (Alaotra). Arch.Serv.Géol.Madag., A.126.
- LIANDRAT E., 1965.- Etude géologique et prospection des feuilles au 1/100.000 Ambodibonara et Bandabe. Arch.Serv.Géol.Madag., A.2022.
- LONGUEFOSSE R., 1922-1925.- L'Antsianaka. Bull.Econ.Madag., 3° et 4° tr.1922, p.233-248 ; 1923, p.11-134, 205-232 ; 1925, p.3-47.
- MAISONNEUVE J., 1960.- Etude géologique sur le Sud de la Corse Bull.Serv.Carte Géol.Fr., n°260, t.LVII, 1959-1960.
- MARCHAL J., 1960.- Etude géologique et prospection des feuilles Antara-Ampasimbe. Trav.Bur.Géol.Madag., n°100.
- MIYASHIRO A., 1961.- Evolution of metamorphic belts. J.Pétr., vol.2 part.3, p.277-311.

- MOINE B., 1966.- Grands traits structuraux du massif "schisto-quartzocalcaire" (centre Ouest de Madagascar). CR.Sem.Géol.1966.Tananarive.
- NOIZET G., 1961.- Etude géologique et prospection des feuilles Anosibe, Antanambao-Manampotsy, Vatondry. Trav.Bur.Géol.Madag., n°108.
- NOIZET G., 1961.- Prospection pour nickel des roches vertes dans la région de Tamatave. Rapp.Ann.Serv. Géol.Madag., p.101-102.
- NOIZET G., 1966.- Sur des caractères géologiques de quelques gisements de graphite de la côte Est. CR.Sem.Géol.Tananarive, p.117-118.
- PERRIER de la BATHIE H., 1913.- Les dépressions lacustres du Mangoro, de l'Alaotra et de l'Ankaizina. Bull.Ac.Malg.t.12, p.227-233.
- PETERLONGO J.M., 1958.- Terrains cristallins des Monts du Lyonnais (Massif Central français). Ann. Fac.Sc.Clermont-Fd n°4, 1 vol., 187 p.
- PETITJOHN F.J., 1957.- Sedimentary rocks, second edition, Haper and Brothers, New-York.
- PITCHEN and FLINN., 1964.- Controls of metamorphism. London (Oliver and Boyd).
- RAKOTONANAHARY R., 1960.- Notice explicative de la feuille Beriana (coupure spéciale). Arch.Serv. Géol.Madag., A.1594.
- RANTOANINA M., 1959.- Etude géologique des feuilles Ambodilazana-Tamatave. Trav.Bur.Géol.Madag., n°91.
- RANTOANINA M., DELBOS L., 1960.- Etude géologique et prospection des feuilles Ranomafana-Brickaville. Trav.Bur.Géol.Madag., n°98.
- RANTOANINA M., 1960.- Etude géologique et prospection des feuilles Beanana-Rantabe. Trav.Bur.Géol. Madag., n°99.
- RASOAMAHENINA J.A., 1965.- Etude géologique et prospection au 1/100.000 des feuilles Ankobakobaka-Ambararata. Arch.Serv.Géol., A.2021.



- RASOAMAHENINA J.A., 1966.- Etude géologique et travaux de recherche sur les gisements de graphite de la région de Tamatave-Moramanga. Arch. Serv.Géol.Madag., A.2099.
- RASOAMAHENINA J.A., 1966.- Considérations sur certains gisements de graphite des régions orientales de Madagascar. CR.Sem.Géol., 1966,Tananarive,p.120-124.
- RAZAFIMBELO E., 1964.- Sur la faille d'Ambondromamy (Nord-Ouest de Madagascar). CR.Sem.Géol.Madag. 1964,p.25-26.
- RAZAFINIPARANY A., 1964.- Les charnockites de Manakambahiny. CR.Sem.Géol.Tananarive,p.53-56.
- RAZAFIMANANTSOA A., 1965.- Etude des zones aurifères dans la sous-préfecture de Vavatenina. Rapp.Ann. Serv.Géol.,13 p.
- de la ROCHE H., 1951.- Etude géologique des feuilles Mandritsara-Maroantsetra. Trav.Bur.Géol.Madag., n°26.
- de la ROCHE H., 1965.- Sur l'existence de plusieurs faciès géochimiques dans les schistes paléozoïques des Pyrénées luchonnaises. Sondendruck aus der Geologischen Rundschau. Band 55,1965.
- ROQUES M., 1941.- Les schistes cristallins de la partie Sud-Ouest du Massif Central français, Mém.Serv. Carte Géol.Fr.,1 vol., 530 p.
- de SAINT OURS J., 1951.- Notice explicative sur les feuilles Tsaratanàna et Marovato. Trav.Bur.Géol. Madag., n°25.
- TURNER F.J. and VERHOOGEN J., 1960.- Igneous and metamorphic petrology 2° edition, Mc Grow Hill, Book CY ed.New-York. 1 vol.,694 p.

TUTTLE and BOWEN., 1958.- Origin of granite in light of experimental studies. Geol. Soc. America. Mem. 74, p. 117-126.

WINCKLER H.G.F., 1966.- La genèse des roches métamorphiques. Ophrys-Gap.

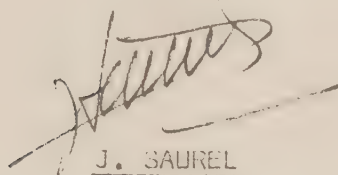
ZIMMERMANN J.L., 1954.- Détermination de l'âge de quelques micas de Madagascar par la méthode Potassium-Argon. Doc. Bur. Géol. Madag., n°166.



12

VU ET PERMIS D'IMPRIMER  
(Décret n° 67-750 du 29 Août 1967 )  
Clermont-Fd, le 10 Mars 1969

Le Doyen,

A handwritten signature in dark ink, appearing to be 'J. Saurel', written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

J. SAUREL













